Aus dem Hygienischen Institut der Universität Würzburg
Vorstand: Prof. Dr. M. Knorr

Die bakteriziden Nachwirkungen des ultravioletten Lichtes

Inaugural-Dissertation

verfaßt und der
Hohen Medizinischen Fakultät der
Bayerischen Julius-Maximilians-Universität Würzburg
zur Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde

vorgelegt von

GEORG WEBERPALS
aus Mistelfeld / Ofr.

*

April 1938

TAGBLATT-DRUCKEREI LICHTENFELS (BAYERN)

REFERENT: PROF. DR. M. KNORR

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät, Würzburg

MEINER LIEBEN MUTTER

A. Schrifttum

I. Direkte Wirkungen

a) der kurzwelligen Ultraviolettſtrahlen

Schon die Entdecker der bakteriziden Lichtwirkung, die Engländer *Downs und Blunt* (1877), kamen zu dem Ergebnis, daß hauptſächlich die ſtark brechbaren Strahlen es ſeien, durch deren Einwirkung die Mikroorganismen zugrunde gehen. Um den wirkſamen Teil des Sonnenſpektrums zu beſtimmen, ſtellten ſie mit *Paſteur'ſcher* Flüſſigkeit beſchickte und mit Bakterien beimpfte Probiergläſer in Käſtchen, die aus rotem, gelbem, blauem und farbloſem Glaſe verfertigt waren. Es zeigte ſich, daß zuerſt die in Bleipapier eingewickelten Kontrollgläſer Trübung erfuhren; ihnen folgten die roten und bald darauf die gelben. Die hinter dem blauen und farbloſen Glaſe befindlichen Probierröhrchen erlitten keine Aenderung. Die Tatſache, daß der ſtörende Einfluß des Lichtes vorwiegend von dem blauen und violetten Lichte abhängt, iſt aus dem Unterſchiede zwiſchen dem Verhalten der Gefäße hinter dem gelben und blauen Glaſe erſichtlich. Dieſes Ergebnis wurde in der Folge von zahlreichen Autoren in den verſchiedenartigſten Verſuchsanordnungen nachgeprüft.

Weitere Bedeutung der ultravioletten Strahlen für die bakterizide Lichtwirkung zeigten die Mitteilungen von *Thiele* und *Wolf* (1907). Sie ſchalteten Filter aus Glas bzw. aus Salzlöſungen (ſalpeterſaure Salze, Oxalſäurelöſung, Rhodankalium, Dinatriumphosphat) zwiſchen Lichtquelle (Queckſilberbogenlampe) und Bakterien (Bouillonaufſchwemmung). Auch in dieſen Verſuchen war der Spektralbezirk unter 300 mμ der wirkſamſte.

Buchholz und *Ieney* (1934/35) zerlegten mit Hilfe des Quarzſpektrographen das Licht einer dreipoligen Quarzlampe. Das zerlegte Lichtbündel wurde durch eine Linſe auf verſchiedene Bakterienkulturen geworfen. Durch

Vergleich mit dem Queckſilberbogenſpektrum konnten ſie innerhalb gewiſſer Grenzen mit Wellen beliebiger Länge arbeiten. Die Beſtrahlung wurde auf offenen Agarplatten vorgenommen, die vorher mit Bakterien beimpft und im Thermoſtat 2—3 Stunden bebrütet wurden. Durch Vergleich der linienartigen Ausfallzonen im Bakterienwachstum zeigte ſich, daß die wirkſamſten Linien bei $\lambda = 265$ mμ und $\lambda = 253$ mμ waren. Die anderen Wellenlängen zeigten erſt nach längerer Beſtrahlung bakterizide Wirkung. Aufwärts nach den längeren Strahlen beobachteten ſie noch bei $\lambda = 302$ mμ ſchwachen bakteriziden Effekt. Die untere Stufe lag in ihren Verſuchen bei $\lambda = 240$ mμ.

Eine einwandfreie Technik in Bezug auf Reinheit des benützten ultravioletten Lichtes führten *Ehrismann* und *Noethling durch*. Sie verwendeten einen Quarzdoppelmonochromator. Während bei einfacher Monochromatiſierung noch benachbarte Spektrallinien mit mehr oder weniger großen Intenſitäten vertreten ſind, wurde bei Anwendung dieſer Verſuchsanordnung keine Spur falſchen Lichtes beobachtet. An der Kaliumzelle konnten die eingeſtrahlten Energien jederzeit kontrolliert werden. Die Beſtrahlung erfolgte auf Agar in Petriſchalen, der vorher durch Aufgießen einer Aufſchwemmung in geeigneter Verdünnung in phyſiologiſcher Kochſalzlöſung beimpft war. Im Falle einer poſitiven keimtötenden Wirkung wies die Platte nach 24-ſtündiger Bebrütung, nur an der beſtrahlten Stelle ein vermindertes Wachstum auf, oder die glänzende Agaroberfläche erſchien, wenn völlige Sterilisation erreicht war, während die übrige Platte einen gleichmäßigen Bakterienraſen zeigte. Die größte bakterizide Wirkung wurde für Micrococcus candicans, B. pyoceaneum, Staphylococcus pyog. aur., Saccharomyces und Vibrio Finkler bei der Linie 265 mμ, für Bact. coli 254 mμ, während bei Bact. prodigiosum eine geringe Verſchiebung nach 281 mμ bemerkbar iſt. Nach der langwelligen Seite wurde bei 313 mμ kein bakterizider Effekt mehr erreicht. Auch der kurzwellige Teil bis zu 240 mμ zeigte eine deutliche Abnahme der Empfindlichkeit der Bakterien. *Im ſichtbaren Licht war keinerlei keimtötende Wirkung nachweisbar.* Was die Empfindlichkeit der Bakterien gegen die U. V.-Strahlen anlangt, ſo zeigen die verſchiedenen Bakterien im einzelnen Unterſchiede. Am empfindlichſten erwieſen ſich Bact. pyoceaneum und Bact. prodigiosum. Dann folgten Bact. coli, Staph. pyog. aur., Vibrio Finkler und Micr. cand. Doch variiert dieſes Verhältnis auch bei den einzelnen Wellenlängen. Beſonders gering war die Empfindlichkeit von Saccharomyces.

b) der langwelligen U. V.-Strahlen und der ſichtbaren Strahlen

Im Gegenſatz zu den bisherigen Feſtſtellungen, weiſen ſchon *Downs* und *Blunt* auf die Tatſache hin, daß in ihren Verſuchen die Bakterien hinter dem roten Glas ſpäter wachſen als in den eingehüllt geweſenen Kontrollgläſern. Das bedeutet, daß die roten Strahlen gegenüber den Bak-

terien nicht vollkommen unwirksam sind und daß sie das Wachstum beeinflussen.

Hertel (1905) stellt in Bezug auf die Abtötung der Bakterien im spektral zerlegten Licht fest: Daß die physiologische Wirkung durchaus nicht an bestimmte Spektralgebiete gebunden ist, sondern daß allgemein die strahlende Energie an sich das wirksame Prinzip ist. Eine Funktion der Wellenlänge ist die physiologische Wirkung nur, weil sie einmal in einem bestimmten Abhängigkeitsverhältnis von den einzelnen Spektralbezirken sehr wechselnder Gesamtintensität der Strahlung und zweitens vor allem weil die Aufnahmefähigkeit der Strahlen für die Mikroorganismen umgekehrt proportional der Wellenlänge ist. In seinen Versuchen verwendete er das Funkenlicht verschiedener Metalle. Er beobachtete die Bakterien mit dem Mikroskop im hängenden Tropfen (Quarzkammer) bei den verschiedensten Wellenlängen (210 mμ, 180 mμ, 448 mμ und 558 mμ usw.). Die Lichtintensität wurde mit der Thermosäule gemessen. Folgende Tabelle gibt die Mittelwerte aus 5—7 Beobachtungen von *Hertel* wieder:

Bei 210 mμ	nach	15''	Abtötung	bei einer thermoelektr. Intensität von	2,5
„ 280	„	3'	„	„	9—11
„ 448	„	2 Std. noch lebend	„	„	30—35
„ 558	„	5—6 Std. Abtötung	„	„	490—510

Um die Abtötung nachzuweisen, wurde der hängende Tropfen nach Bestrahlung in Bouillon aufgeschwemmt. Annähernd dieselben Werte konnte er bei Bestrahlung von Paramäcien und Rotatorien finden. Daraus ersehen wir eindeutig, *daß die langwelligen Strahlen ebenfalls bakterizid wirken.*

In ihrer zweiten Mitteilung „Ueber die Abtötung der Bakterien durch Licht", kommen *Thiele* und *Wolf* zu dem Ergebnis, daß es sich bei der Abtötung der Bakterien um zwei getrennte Vorgänge handelt, einmal um die Abtötung durch sehr kurzwellige ultraviolette Strahlen und dann um Strahlen größerer Wellenlänge, etwa von solchen, die von Glas (bei 1,35 mm Dicke) noch durchgelassen werden. *Allerdings ist die Abtötung von Bakterien durch langwellige Strahlen von der Gegenwart von Sauerstoff abhängig.* Sie ist bei niederen Temperaturen nur gering und wächst mit steigender Temperatur.

Friedland (1924) zeigte die Einwirkung des Sonnenlichts in Reagenzgläsern aus gewöhnlichem Glas (also ohne die ultravioletten Strahlen), durch folgende Versuche: 10 Reagenzgläser mit Tbc besäten Nährstoffen brachte er 60—75 Minuten in das Licht der Mittagssonne und stellte sie dann in den Brutschrank mit den unbelichteten Kontrollgläsern. Am 11. Tage waren die belichteten Reagenzgläser vollkommen steril; daraus schließt

Friedland, daß die Bakterizidie des Sonnenlichtes auch ohne die U. V.-Strahlen auftritt.

Wir wiſſen heute, daß gewöhnliches Glas nach den Unterſuchungen von *Thiele* und *Wolf* bei einer Dicke von 1,35 mm von 290 mμ ab ſämtliche Strahlen am Durchtritt hindert. Nur die farbloſen Spezialgläſer der Fa. Schott & Gen. Jena ſind für die U. V.-Strahlen bis 265 mμ durchläſſig.

Wenn die einzelnen Autoren in ihren Verſuchen Einſchlußgefäße aus gewöhnlichem Glas für ihre zu beſtrahlenden Flüſſigkeiten anwenden, ſo iſt es erklärlich, daß die kurzwelligen U. V.-Strahlen für den auftretenden bakteriziden Erfolg nicht verantwortlich zu machen ſind, ſondern daß dieſer durch Wellenlängen hervorgerufen iſt, die das benützte Glas paſſiert haben. Meine dahingehend angeſtellten Verſuche mit Agarplatten haben dieſe Feſtſtellung beſtätigt. Bei Beſtrahlung von Bakterien mit dem U. V.-Licht der Quarzlampe in mit einem Glasdeckel verſehener Petriſchale auf Agar zeigen die belichteten Stellen kein Wachstum, während auf der unbelichteten Fläche, wo die Strahlen durch einen ſchwarzen Leukoplaſtſtreifen am Durchtritt verhindert waren, üppiges Wachstum der Bakterien zu ſehen iſt.

Ueber die Wirkungsart des ultravioletten Lichtes ſind die Autoren verſchiedener Meinung. Die Mikroorganismen haben mehrere Eigenſchaften, die ihnen gemeinſam ſind. Sie ſind farblos, woraus ſich ohne weiteres eine verhältnismäßig geringe Abſorption für farbiges Licht ergibt, während die ultravioletten Strahlen in reichem Maße abſorbiert werden. Es erklärt ſich hieraus die große Wirkſamkeit dieſer Strahlenarten. Die Maſſe der einzelnen Bakterienzelle iſt verhältnismäßig ſehr gering, ſodaß in dünneren Aufſchwemmungen nur ein verhältnismäßig geringer Teil des auffallenden Lichtes zur Wirkung gelangen kann, während ein großer Anteil hindurchgeht. Im Zuſammenhang mit der geringen Größe des einzelnen Mikroorganismus ſteht aber die gewaltige Oberflächenentwicklung — auf die Gewichtseinheit bezogen — wodurch wiederum eine verhältnismäßig große Aufnahme von Licht bedingt wird.

Es iſt wohl denkbar, ſchreibt *Ehrismann,* daß der primäre Effekt der ultravioletten Strahlen nicht in Veränderungen des Chemismus des Zellinneren beſteht, ſondern daß zunächſt Störungen der Durchläſſigkeit der Oberflächenſchicht auftreten, die — ſei es durch Eintritt giftiger Subſtanzen von außen, ſei es durch Austritt von Plasma (Plasmatyſe) — ſchließlich nicht mehr mit dem Leben verträglich ſind. Im letzteren Sinne ſprechen folgende Beobachtungen: mit Neutralrot gefärbte Paramäcien zeigen eine bedeutend geſteigerte Durchläſſigkeit für Ammoniak, wenn ſie dem Lichte und zwar am ſtärkſten, wenn ſie dem ultravioletten Teil des Lichtſpektrums ausgeſetzt waren.

Ehrismann betrachtet die Wirkung der ultravioletten Strahlen auf Bakterien im weſentlichen als einen kollid-chemiſchen Vorgang, der letzten

Endes zu einer Auflöſung der Zelle führt. Dieſe Annahme beſtätigt er durch die Aufhellung von Bakterienſuſpenſionen bei Beſtrahlung, Inlöſunggehen von Zellbeſtandteilen und der parallel mit der Aufhellung gehenden Abnahme der direkt zählbaren Bakterien.

Gutfeld und *Pincuſſen* (1930) ſind der Anſchauung, daß der Mechanismus der Lichtbeeinfluſſung auf Entladungsvorgänge, den ſogen. *Hallwachseffekt*, beruht, nämlich der Entfernung der elektriſch negativen Ladung, die nach Angaben von *P. Schmidt* und anderen bei faſt allen Bakterien vorhanden ſind. Sie nehmen an, daß die Ladung mit den Lebensvorgängen in innigem Zuſammenhang ſteht und daß ihr Verluſt das Leben empfindlich ſtören muß. Jedenfalls iſt dieſe Entladung nur als Beginn derjenigen Vorgänge anzuſehen, die ſchließlich zum Tode des Kleinlebeweſens führen. Es iſt nun möglich, daß ſich ſolche elektriſche Ladungserſcheinungen nicht nur auf den ganzen Organismus, ſelbſt des kleinſten Lebeweſens, ſondern auf ſeine Beſtandteile, auch ſolche, die wir mit unſeren optiſchen Hilfsmitteln nicht mehr differenzieren können, beziehen. Iſt doch die elektriſche Ladung das Charakteriſtikum der Atome. Bei Kolloiden äußert ſich der Verluſt der Ladung in einer Verminderung der Stabilität, in einer Zuſammenlagerung ſonſt durch elektriſche Kräfte auseinandergehaltenen Teilchen. Dieſe Erſcheinung wird beſonders deutlich bei den kleinſten Aggregaten ſein und auf dieſe Weiſe iſt auch von *Pincuſſen* die Einwirkung der Strahlen auf die Fermente ausgelegt worden, welche am ſtärkſten bei der optimalen Fermentreaktion iſt, d. h. bei der Reaktion, bei welcher der kolloide Fermentbeſtandteil in feinſter Verteilung vorhanden iſt. Die Verteilung der Kolloidteilchen in Löſungen wird geregelt durch den Ionengehalt. Die wichtigſte Rolle ſpielt das Waſſerſtoffion. Man kann aber die Diſperſität der kolloiden Löſungen auch durch Zugabe von anderen Ionen als das Waſſerſtoffion modifizieren. Wie ſchon erwähnt, wird die erhöhte Lichtwirkung auf die vergrößerte Diſperſität, d. h. die erhöhte Oberflächenentwicklung der beſtrahlten Stoffe zurückgeführt.

Sie hatten nun angenommen, daß die quellende und entquellende Wirkung verſchiedener Ionen von Einfluß auf die Strahlenempfindlichkeit der Bakterien ſein könnte. Die Verſuche wurden mit verſchiedenen Kationen ausgeführt. Das Annion war in allen Löſungen Cl; als Kationen, deren Einfluß auf die Strahlenwirkung geprüft werden ſollte, wählten ſie K, Na, Mg, Ca. Es hat ſich gezeigt, daß das Ca-Ion die Bakterien gegen die Lichtwirkung erheblich mehr ſchützte als das K-Ion. Da Kalium die Quellung am ſtärkſten fördert, Kalcium ſie am ſtärkſten hemmt *(Hofmeiſter)*, erſchien der Ausfall ihrer Verſuche — wenigſtens für Stapylococcen und Diphteriebazillen — ihre Vermutung zu beſtätigen. Für die Anionen konnten ſie dieſe Annahme, daß die entquellende Eigenſchaft eines Salzes bzw. Ions für die Schutzwirkung maßgeblich ſei, nicht beſtätigt finden.

II. Sog. „indirekte" Wirkungen, worunter man die Entſtehung von bakteriziden Stoffen verſteht, die unter dem Einfluß des Ultravioletts in dem mit Bakterien beimpften Nährboden bzw. Flüſſigkeiten gebildet werden, wie H_2O_2, N_2O_3, Ozon, Aldehyde uſw.

Neben dieſem unmittelbaren Einfluß des Lichtes auf die Mikroorganismen, wurde von verſchiedenen Autoren eine keimtötende Kraft durch Veränderung der Nährflüſſigkeit beobachtet. Die Erſten, die hierüber berichten, ſind wiederum die Engländer *Downs* und *Blunt*. Um zu beſtimmen, welchen Anteil die Nährflüſſigkeit an dem ſchädigenden Einfluß des Lichtes nimmt, wurde eine Anzahl ſpindelförmiger Glasröhrchen aus gewöhnlichem Glas mit einer beſtimmten Menge recht konzentrierter Paſteur'ſcher Löſung verſehen. Nach wiederholtem Aufkochen im Waſſerbad, wurden die noch offengebliebenen Enden zugeſchmolzen. Die ſpindelförmigen Gefäße ſind in Probiergläſer hineingeſtellt worden, in welchen keimhaltiges, deſt. Waſſer derart abgemeſſen war, daß beide Flüſſigkeiten nach Aufbrechen der Spindelröhrchen miteinander vermiſcht, Paſteur'ſche Nährlöſung geben würden. Vier auf ſolche Weiſe ausgerüſtete Gefäße ſind in Bleipapier, fünf ohne dasſelbe, belichtet worden. Nach etwa zwei Monaten wurden die Röhrchen durch Anſtoßen gegen die Wand des Probierglaſes gebrochen. Die Miſchung der eingehüllt geweſenen Gefäße trübte ſich und zeigte Bakterienwachstum, während der Inhalt aller übrigen unverändert blieb. Die mit Paſteur'ſcher Löſung gleichzeitig angeſtellten Verſuche haben gezeigt, daß die Einwirkung der Belichtung hier viel früher, ſchon nach einigen Tagen, zur Geltung kommt, wogegen ſie ſich im deſt. Waſſer viel ſpäter äußert.

Um zu entſcheiden, ob durch Sonnenbeſtrahlung die Nährbrühe chemiſche Veränderungen erfährt, hat *Janowski* (1890) folgendes Verfahren angewendet: Ein Kolben aus Glas mit 30 ccm Nährbrühe wurde mit einer Oeſe von Typhuskultur beimpft. Der Kolben blieb zwei Tage lang im Sonnenlicht ſtehen. Die Bouillon war vollkommen klar geblieben. Mit Hilfe einer ſterilen Pipette wurde 1 ccm entnommen und in einen anderen Kolben mit ſteriliſierter Brühe, welche nicht dem Lichte ausgeſetzt war, übertragen. Die Brühe des erſten Kolbens wurde mit einer friſchen Oeſe von Typhusbazillen beimpft und beide Gläſer in den Brutſchrank bei 37^0 geſtellt. Die Nährbrühe, welche zwei Tage belichtet und zum zweiten Male beimpft war, zeigte bald Trübung. Die Nährflüſſigkeit des anderen Kolbens, welche mit 1 ccm belichtete Brühe (vorher mit Typhusbazillen beſät) beimpft war, blieb ganz klar.

Das berechtigt *Janowski* zu dem Schluß, daß das Sonnenlicht eine verderbliche Wirkung direkt auf die Typhusbazillen ausübe. Jedenfalls ſind die chemiſchen Veränderungen, die durch den Einfluß des Sonnenlichts entſtanden ſind, nicht ſo groß, um die Entwicklung der Typhusbazillen zu hindern oder gar dieſe abzutöten.

Buchner (1893) ſuchte ſich eine Vorſtellung zu machen, ob die Sonnenſtrahlen eine wachstumhemmende Wirkung in den Nährböden hervorrufen. Zu dem Zwecke wurde Fleiſch-Pepton-Agar in mit Deckel verſehene Glasſchalen ungefähr 1 bis $1^1/_2$ Stunden dem Sonnenlicht ausgeſetzt, dann verflüſſigt und die Bakterien beſät. Die Unterfläche der Schalen wurde mit einem Kreuz oder mit Buchſtaben aus Papier beklebt und ſo in der erwähnten Zeitdauer mit der Unterſeite nach oben nochmals dem Lichte ausgeſetzt. Nach dieſer Zeit überließ er die Platten bei geeigneter Temperatur ihrer Entwicklung. Die mit Papier beklebten Stellen zeigten üppiges Wachstum, während die belichteten Stellen ſteril blieben. Durch Vergleich nun mit Agar, der vor der Beimpfung nicht exponiert war, konnte er keinen weſentlichen Unterſchied im Wachstum der Bakterien erkennen. *Auf Grund ſeiner Verſuche glaubt er eine Schädigung der Nährböden durch Belichtung ausſchließen zu dürfen.*

Thiele und *Wolf* (1907) halten es für wahrſcheinlich, daß bei der Abtötung der Bakterien durch Licht ein *indirekter Einfluß nicht in Frage komme.* In ihrer Verſuchsanordnung haben ſie verſchiedene Flüſſigkeiten wie deſt. Waſſer, phys. Na C 1-Löſung, Elbwaſſer und Nährbrühe in Verdünnungen 1:100 und 1:1000 mit Bakterien beimpft und unbeimpft in Quarzröhrchen bis zu 9 Stunden mit dem Licht der Kohlenbogenlampe beſtrahlt, unter Sauerſtoffdurchleitung in der einen und Waſſerſtoffdurchleitung in der anderen Reihe der Verſuche. *Sie konnten eine oxydierende Wirkung des Lichtes auf das Waſſer durch Bildung von Waſſerſtoffſuperoxyd auch bei Durchleitung von Sauerſtoff* mit dem *Schönbein'ſchen* Reagenz nicht nachweiſen.

Weiter konnten *Thiele* und *Wolf*, wenn ſie nach Angabe von *Dieudonné* Agar-Agarplatten zwei bis fünf Stunden dem Sonnenlicht, halb mit Papier bedeckt, halb offen, ausſetzten, und dann mit dem *Schönbein*ſchen Reagenz prüften, keine Bildung von Waſſerſtoffſuperoxyd feſtſtellen. Es war auch ganz gleichgültig, ob die Platten offen oder mit einem Glasdeckel verſehen exponiert wurden. *Kontrollplatten mit eingeſäten Bakterien ergaben, daß ſie auf der belichteten Seite vollkommen abgetötet waren.* Dasſelbe Ergebnis erhielten ſie, wenn unbeſäte Agarplatten belichtet, beimpft und nochmals belichtet wurden. Sie ſchließen daraus, daß bei der Abtötung der Bakterien durch Licht ein indirekter Einfluß durch Oxydation des Waſſers (Waſſerſtoffſuperoxydbildung) nicht möglich ſei.

Oker-Blom (1913) ließ ſich von dem Gedanken leiten, wenn die Beſtrahlung eines organiſche Subſtanzen enthaltenden Waſſers eine Oxydation dieſer Subſtanzen oder eines Teiles herbeiführt, ſo muß das Waſſer nach Beſtrahlung mit ultraviolettem Licht *weniger Sauerſtoff zur Beſtimmung dieſer Stoffe verbrauchen als vorher. Er findet aber, daß der Sauerſtoffverbrauch des Leitungswaſſers vor und nach der Beſtrahlung vollkommen gleich iſt.* Die Ergebniſſe ſcheinen alſo gegen eine Oxydation der organiſchen Beſtandteile zu ſprechen.

In weiteren Verſuchen ſucht er die Bildung von *Waſſerſtoffſuperoxyd, Ozon* und *ſalpetriger Säure* nachzuweiſen. Die genannten Stoffe machen aus Jodkalium Jod frei, das den Stärkekleiſter blau färbt. Zunächſt leitet er für einige Minuten beſtrahlte Luft durch die Jodkalium-Stärkelöſung; es tritt keine Bläuung des Reagenz ein. Ebenſo tritt keine Farbveränderung mit beſtrahltem, deſt. Waſſer auf. Dagegen zeigt ſich Blaufärbung, wenn er das Jodkalium direkt beſtrahlt. Wird das deſt. Waſſer, das vorher gut ausgekocht war, beſtrahlt, ſo bewirkt die Belichtung unter ſonſt gleichen Bedingungen keine Veränderung des Jodkaliums. Dagegen iſt durch Einleiten von Luft in dieſes Waſſer und durch nochmaliges Beſtrahlen ſofort eine Blaufärbung ſichtbar. *Oker-Blom* iſt der Meinung, daß die Abſpaltung von Jod aus Jodkalium, infolge der Beſtrahlung, einen ſekundären Vorgang darſtellt, der von Stoffen vermittelt wird, welche unter dem Einfluß der ultravioletten Strahlen aus den Luftbeſtandteilen hervorgegangen ſind. Aus der Tatſache, daß im ausgekochten deſt. Waſſer ebenſo wie im gewöhnlichen deſt. Waſſer bei direkter Einwirkung des ultravioletten Lichtes die Bakterien abgetötet werden, ſchließt er, *daß die keimvernichtende Wirkung der kurzwelligen Strahlen nicht auf einer Salpetrigſäure-, bzw. Ozon- oder Waſſerſtoffſuperoxyd-Bildung beruht, ſondern als ein unmittelbarer Einfluß des ultravioletten Lichtes auf die Bakterien aufzufaſſen iſt.*

I. G. de Voogt (1914) benützte eine in das Waſſer untergetauchte Lampe (75 Volt, 4,6 Amp.). Um eine chemiſche Veränderung des Waſſers feſtſtellen zu können, mußte es einer längeren Lichteinwirkung ausgeſetzt werden. *Er beobachtete, daß die Permanganatzahl nach der Sterilisation kleiner war als vorher.* Mit dem Titanreagenz, das eine Konzentration von 1:1 Million Waſſerſtoffſuperoxyd leicht anzeigt, hat er keines nachweiſen können. Da dieſe Konzentration weit unter derjenigen liegt, welche nach *Küſter* für die bakterizide Wirkung in Frage käme, ſo wird die Bildung von Waſſerſtoffſuperoxyd in praktiſcher Hinſicht ohne Bedeutung ſein. Ebenſo lehnt er auf Grund ſeiner Unterſuchungen die Entſtehung von Ozon und deſſen Einwirkung auf die Bakterien ab. Er ſteht auf dem Standpunkt, daß die keimbildende Wirkung *auf einem unmittelbaren Einfluß des ultravioletten Lichts beruht, ohne einen Zwiſchenſtoff durch Vermittlung des Waſſers.*

III. Nachwirkungen des Ultravioletts ſind Wirkungen, die nach Wegfall der Strahlen noch in den beſtrahlten Stoffen vorhanden ſind. Sie werden auf die unter II. genannten Stoffe zurückgeführt oder durch „ſekundäre" Strahlung zu erklären verſucht. Weſentlich iſt, daß gegenüber II. durch geänderte Verſuchsanordnung die direkte Strahlenwirkung wegfällt.

Die Tatſache, daß Stoffe, die längere Zeit dem Licht, vor allem den ultravioletten Strahlen ausgeſetzt waren, eine wachstumshemmende bzw.

keimtötende Wirkung auf die Mikroorganismen behalten, iſt verſchiedentlich feſtgeſtellt, von anderer Seite wiederum abgelehnt worden.

Roux (1887) machte die Beobachtung, daß das Licht in der Nährflüſſigkeit chemiſche Veränderungen hervorruft, die das Auskeimen der Sporen verhindern. In ſeinen Verſuchen verwendete er eine recht ſchwach gefärbte alkaliſche Kalbsbrühe, die aus einem Teil Fleiſch und zwei Teilen Waſſer hergeſtellt wurde. In einer Höhe von 5 mm wurden Flaſchen mit reiner Bouillon und andere mit Sporen beimpfter Nährbrühe zu gleicher Zeit dem Sonnenlicht ausgeſetzt. Die Sporen ſtammten aus einer 16 Tage alten Kultur von milzbrandhaltigem Blut in Humor aqueus des Ochſenauges. Jede Stunde wurde von beiden Sorten eine Flaſche aus dem Licht entfernt und diejenige, welche nur Brühe enthielt, mit Sporen beimpft und gleichzeitig mit der anderen in den Brutſchrank geſtellt. Meiſtens zeigten nach zwei Stunden Expoſition in der vollen Sonne die Flaſchen der mit Sporen verimpften Flüſſigkeit kein Wachstum, während die Bouillon, die dieſelbe Zeit belichtet war und in die man die Sporen erſt nachher verimpfte, Wachstum zeigte. Wurde aber die Belichtung auf drei bis vier Stunden verlängert, ſo ließ die Nährbrühe keine Sporen mehr auskeimen, die nachher hinzugebracht wurden. Unter dem Einfluß des Lichtes und der Luft müſſen alſo im Nährmedium chemiſche Veränderungen ſtattgefunden haben, die das Auskeimen der Sporen aufhalten. Die Sporen werden ſelbſt bei 12-tägigem Verbleiben in der belichteten Brühe nicht abgetötet, denn bringt man ſie in eine unbelichtete Nährflüſſigkeit, ſo können ſie hier ungehindert wachſen. Sie entwickeln ſich umſo langſamer, je länger ſie in der beſtrahlten Bouillon verblieben oder je länger ſie belichtet worden waren. Befindet ſich aber die Brühe während der Belichtung in einer Kohlenſäure-Atmoſphäre oder im luftleeren Raum, ſo wachſen die übertragenen Sporen zu Scheinfäden aus. Die durch Licht veränderte Nährflüſſigkeit kann ihre früheren Eigenſchaften wieder erhalten, ſobald man ſie längere Zeit im diffuſen Licht oder in der Dunkelheit ſtehen läßt.

Roux betrachtet die Einwirkung des Lichtes als einen Oxydationsvorgang, der ſich hauptſächlich in den kohlehydrathaltigen Subſtanzen abſpielt und erklärt ſich die Zurückgewinnung der Nährfähigkeit der belichteten Brühe ſo, daß ſich umgekehrte chemiſche Reaktionen vollziehen oder daß die hemmenden Produkte durch Verdunſten verſchwinden.

Um den Einfluß des Lichtes auf Nährgelatine zu beweiſen, führte *Geisler* (1892) folgenden Verſuch aus: Von ſechs Reagenzgläſern aus Glas, die mit ſteriler Nährgelatine gefüllt waren, wurden zwei Röhrchen unbeimpft und zwei mit Typhusbazillen beimpft bei Sonnenbeſtrahlung zwei bis drei Stunden belichtet, während die übrigen zwei Röhrchen als Kontrollen im Dunkeln ſtehen blieben. Hierauf beimpfte er die der Beſonnung unterworfenen Gelatineröhrchen ebenfalls und ſtellte ſie alle in einen dunklen Schrank. Das Wachstum der Bazillen auf der Gelatine.

die vorher der Einwirkung des direkten Sonnenlichtes ausgesetzt war, war bedeutend schlechter als in den Kontrollröhrchen und etwas besser als in denjenigen Reagenzgläsern, wo die Bazillen selbst durch das Licht beeinflußt wurden. *Geisler* kommt zu dem Ergebnis, daß das Licht die Nährgelatine verändert, indem es diese für das Gedeihen der Typhusbazillen weniger geeignet macht. Er ist der Anschauung, daß wir es hier mit einer unter dem Einfluß des Lichtes ozonisierten Luft zu tun haben und er weist auf eine Arbeit von *Wyssokowitch* hin, der behauptet, daß *Ozon die Nährgelatine für das Gedeihen der Bakterien untauglich macht.*

Ueber die *chemischen Wirkungen des Lichtes auf organische und anorganische Stoffe* teilt *Kruse* (1895) folgendes mit: Reagenzgläser werden mit Bouillon bzw. mit Wasser in hoher und in niedriger Schicht gefüllt und mehrere Tage besonnt. Dann neben ebenso vielen Kontrollröhrchen mit einer gleichen Anzahl Typhusbazillen beimpft und im Dunkeln bei 21° aufbewahrt. Mit je einer entnommenen Oese werden Platten gegossen. Hierbei zeigte die Nährbrühe in niedriger Schicht die größte bakterizide Wirkung, während im Wasser nur ein schwacher Einfluß zu erkennen war. Die Ergebnisse waren dieselben, wenn er statt Typhus Milzbrand verimpfte. In weiteren Versuchen bestrahlte er Bouillon in 10-, 20- und 40-facher Verdünnung, ferner Salzlösungen mit Zusatz von 1 Prozent Pepton und 3 Prozent Traubenzucker, 1 Prozent Pepton allein, 1 Prozent weinsaures Ammon und 3 Prozent Zucker, 1 Prozent Ammon allein, 3 Prozent Zucker allein, eine größere Reihe von Tagen in der Sonne und besäte sie dann mit den dazugehörigen Kontrollröhrchen. Die Nährbrühe zeigte sich noch in 40-facher Verdünnung geeignet durch das Licht verändert zu werden, ebenso Peptonlösung mit oder ohne Zucker. *Keine Veränderung erleiden die einfacheren zusammengesetzten Nährböden.* Der Zucker ist offenbar kein wesentlicher Faktor bei dieser merkwürdigen Veränderung der Nährflüssigkeiten durch das Licht, *vielmehr scheinen es die kompliziert gebauten Stickstoffverbindungen des Fleischsaftes bzw. des Peptons zu sein.*

Die Wirkung des neu entstandenen, wachstumhemmenden bzw. bakterientötenden Stoffes war etwa dem Zusatz von ¼ Prozent Karbolsäure gleich. *Auch konnte sie nicht durch zwei Stunden Erhitzen auf 100° und durch Zusatz von gleichen Mengen dest. Wassers vernichtet werden.* Die Veränderung der Flüssigkeit ist nicht auf eine Säurebildung zurückzuführen. Die Tatsache der *Bildung von Wasserstoffsuperoxyd,* die nach *Dieudonné* für den keimtötenden Einfluß maßgeblich sei, *konnte von Kruse beobachtet werden.* Doch war dies im Wasser im größeren Maße der Fall als in Bouillon, was gegen die Annahme einer wesentlichen Beteiligung des Wasserstoffsuperoxyds spricht.

Die Amerikaner *Walker* und *Pryer* (1921), die den Keimgehalt des mit ultravioletten Strahlen behandelten Trinkwassers untersuchten, fanden, daß dem bestrahlten Wasser eine sterilisierende Kraft mitgeteilt wird, die Typhusbazillen, welche nachher dem Wasser zugesetzt wurden, ab-

tötet. Als Sterilisatoren waren zwei U. V.-Geräte vom gewöhnlichen Serientyp aufgestellt. Die beiden Proben, das gereinigte und das sterilisierte Wasser, wurden etwa 3—4 Stunden nach der Entnahme im Laboratorium verarbeitet. 10 ccm Wasser dieser Proben wurden mit einer Oese von Paratyphus B-Kulturaufschwemmung in Kochsalz beimpft und gleichzeitig mit 1 ccm und 0,1 ccm Wasser je zwei Agarplatten gegossen. Nach Verlauf von ein und zwei Stunden wurden abermals Platten in gleicher Verdünnung hergestellt und bei 37° bebrütet. Das bestrahlte Wasser zeigte in jedem Fall eine beträchtliche Abnahme der Bakterien bis zu 94 Prozent, während in dem unbehandelten Wasser eine Zunahme festgestellt werden konnte. Dasselbe Ergebnis erhielten sie in Versuchen mit gekochtem (sterilisiertem), bestrahltem Leitungswasser und mit dest. bestrahltem Wasser.

Walker und *Pryer* nehmen die *Entwicklung einer Radioaktivität im Wasser an,* die durch die U. V.-Bestrahlung hervorgerufen ist. Und zwar sollen es die kurzwelligen Strahlen sein, die nach *Kreußler* und *Lymann* von einer 2—5 mm hohen Wasserschicht von 200 mμ abwärts mit Abnahme der Wellenlänge, um so stärker absorbiert werden. Da die Quarzquecksilberdampflampe besonders reich an Strahlen bis zu einer Wellenlänge von 186 mμ ist, so käme diese Strahlung als möglicher, ursächlicher Faktor für die bakterizide Wirkung in Betracht.

Friedland (1924) zeigte die Einwirkung der Sonnen-, Ultraviolett- und Radiumstrahlen auf Nährsubstanzen durch folgende Versuche: 10 Probiergläser aus gewöhnlichem Glas mit Tbc besäter Nährsubstanz, 10 Probiergläser mit Nährsubstanz allein brachte er in das Licht der Mittagssonne und ließ weitere 10 beimpfte Gläser als Kontrolle im Dunkeln stehen. Nach 40—70 Minuten Exposition besäte er die noch unbeimpfte aber belichtete Nährsubstanz, worauf er alle 30 Probiergläser in den Brutschrank 37° stellte. Am elften Tage verglich er das Wachstum in den Probiergläsern, wobei er das Wachstum in den Kontrollgläsern gleich 100 Prozent rechnete. Er beobachtete, daß volle Sterilisation der Tuberkelsaat nach 1½ Stunden Belichtung auftritt und daß Aenderungen in der belichteten Nährsubstanz eine Wachstumsverminderung in den mit Tbc-Bazillen beimpften Reagenzgläsern bis zu 25 Prozent hervorriefen.

Mit der künstlichen Höhensonne wurde die Bestrahlung bei einem Abstand der Röhrchen von 0,5—0,25 m vom Brenner in den einzelnen Versuchen durchgeführt. Die Dosis wurde jedesmal mit dem Erythemdosimeter nach Keller festgestellt. Es zeigte sich, daß die Quarzlampe bei gleicher Bestrahlungsdauer ungefähr dieselbe chemische Wirkung hervorruft, wie die Sonnenstrahlen.

Die β- und γ-Strahlen dagegen erzeugen keine wesentlichen bakteriziden Eigenschaften.

Friedland kommt zu der Annahme, daß *neben der direkten Einwirkung der Strahlen auf die Bakterien der bakterizide Effekt auch in ge-*

ringer Weiſe von photochemiſchen Veränderungen der Nährſubſtanz abhängt.

Ebenſo findet *Bedford* (1927), daß bei Beſtrahlung von Agarplatten mit dem U. V.-Licht der Quarzlampe nachheriges Bakterienwachstum auf dieſen Platten gehemmt wird.*) Auf Blutagarplatten ruft Belichtung eine dem Waſſerſtoffſuperoxyd gleiche Grünfärbung hervor. Die Hemmung iſt gegenüber Choleravibrionen am ſtärkſten und nimmt ab über Diphtheriebazillen, Staphylokokken zu Typhus. Die Reihenfolge entſpricht der von *Gordon* für die Empfindlichkeit gegen Waſſerſtoffſuperoxyd feſtgeſtellten.

Im gleichen Jahre konnte *Dimitrijevic-Speth* beobachten, daß Schrägagarröhrchen, die einen Vormittag den Sonnenſtrahlen ausgeſetzt waren und dann mit Typhusbakterien beimpft wurden, dieſe kein oder nur geringes Wachstum zeigten, während in den mit Stanniol umwickelten Kontrollröhrchen üppiges Wachstum auf der Agaroberfläche zu ſehen war. *Nach 30 Beſonnungstagen blieben alle Röhrchen ſteril.* Mit der künſtlichen Höhenſonne bei 60 Minuten Beſtrahlungsdauer und 25 cm Abſtand der Röhrchen erhielt er aber reichliches Wachstum der nachher verimpften Typhusbazillen. *Er hält es für möglich, daß dieſe bakterizide Wirkung von den U. V.-Strahlen ausgeht. Die gefundene bakterientötende bzw. wachstumhemmende Einwirkung erklärt er als eine Art Sekundärſtrahlen, die ſich erſchöpfen.* Bei viertägigem Stehen im Dunkeln, der mit der abtötenden Doſis belichteten Schrägagarröhrchen, konnte er noch geringes Wachstum feſtſtellen und nach vierzehn Tagen war kein Unterſchied im Wachstum gegenüber den unbeſtrahlten Kontrollröhrchen zu ſehen. *Aus dieſem Grunde lehnt er die chemiſche Veränderung des Nährbodens ab.* Die Vorbedingung für das Zuſtandekommen der Sekundärſtrahlen ſcheint eine Trübung zu ſein und zwar unabhängig vom chemiſchen Aufbau des Nährmittels.

Norton (1927) prüfte die Ergebniſſe von *Walker* und *Pryer* nach. Er benützte zwei Sterilisatoren mit verſchiedenem Leiſtungsverbrauch. Durch ein Knochenkohlefilter wurde das Leitungswaſſer von Chloridſpuren befreit. Die Proben wurden vor dem Eintritt des Waſſers in den Sterilisator und nach dem Verlaſſen des Gerätes entnommen und mit einer 24-ſtündigen Typhus-, Staph. aur.- oder Friedländer-Kultur beimpft. Mit 1 ccm wurden je zwei Agarzählplatten hergeſtellt. Nach dreißig Minuten und in einigen Fällen nach ein bis zwei Stunden wurden wiederum zehn Platten verfertigt und bei 37° bebrütet. Durch Vergleich der gewachſenen Kolonien des beſtrahlten Waſſers und der Kontrolle in der angegebenen Einwirkungszeit, zieht er aus dreißig Verſuchen den Schluß, *daß das mit ultraviolettem Licht behandelte Waſſer eine zurückbleibende bakterizide*

*) Leider kann ich keine Angaben machen, ob der Agar in Schalen mit Glasdeckel oder offen bestrahlt wurde, da mir diese Arbeit z. Zt. nur als Referat vorliegt.

Kraft behält, die abhängig iſt: von der Lichtintenſität, von der Zeit, die nach der Belichtung verſtreicht, und dem benützten Bakterienſtamm.

Bonino (1930) hat einen einfachen Agarnährboden, der zum Teil in Petriſchalen *), teils in Röhrchen aus Glas und Quarz enthalten war, dem Sonnen- und Ultraviolettlicht ausgeſetzt und nachher mit verſchiedenen Bakterien beimpft. Der in Petriſchalen befindliche Agar, der täglich zwei Stunden während vier aufeinanderfolgender Tage beſtrahlt war, *bewahrte ſeine Nährfähigkeit* für folgende Bakterien auch in den Glasröhrchen: Typhus, Paratyphus A und B, Staphylokokken, Cholera, Coli, Milzbrand. Nach dreißig Beſtrahlungstagen ging der Nährwert je nach dem Bakterientypus allmählich verloren, ſodaß der Nährboden bei einer 55 Tage langen Beſtrahlung für Typhus und bei 122 Tagen für Milzbrand ſeine Nährfähigkeit verlor. Der in Quarzröhrchen eingeſchloſſene Agar zeigte ſchon nach elf Tagen Sonnenbeſtrahlung und bei Belichtung mit der Quarzlampe in dreißig Stunden, daß ſein Nährwert zuerſt für Typhus und dann für Milzbrand zerſtört war.

In einer jüngſt erſchienenen Veröffentlichung behaupten *Jolaſſe* und *Lauſter*, daß Waſſer, das durch ultraviolettes Licht entkeimt wurde, *eine bakterizide Wirkung zurückbehält, die ausreicht, um 90 Prozent der ſpäter hinzugebrachten Bakterien abzutöten. Sie vermuten, daß organiſche Stoffe, welche darin gelöſt ſind, die Strahlen abſorbieren und dazu befähigt werden, bakterizid zu wirken.*

Die Ueberſicht über das Schrifttum zeigt zwar eine reichliche Beſchäftigung mit der Frage nach der bakteriziden Nachwirkung von beſtrahlten Stoffen. Indeſſen laſſen die verſchiedenen Ergebniſſe keinen endgültigen Schluß zu, ob dieſe Wirkung zu Recht beſteht.

Was die einzelnen Nährſtoffe anlangt, ſo iſt es erklärlich, daß die hochmolekularen, organiſchen Stoffe die ultravioletten Strahlen abſorbieren und dadurch aufgeſpaltet werden. *Hoffmeiſter* hat z. B. bei Beſtrahlung von Eiweißkörpern die Bildung von Acetaldehyd nachgewieſen; ebenſo werden die Kohlehydrate durch Einwirkung des U. V. abgebaut. Die neuentſtandenen Abbauſtoffe können antiſeptiſch auf den Bakterienkörper wirken.

Es iſt ganz ausgeſchloſſen, daß die U. V.-Strahlen eine Agar- oder Gelatineſchicht von der Dicke einer gegoſſenen Platte durchdringen und verändern. *Thiele* und *Wolf* haben das durch Spektogramme nachgewieſen. Sie werden wahrſcheinlich in den alleroberflächlichſten Schichten zurückgehalten. Nährbrühe iſt ebenfalls für dieſe Strahlen wenig durchläſſig. Erſt bei ſtärkeren Verdünnungen kann das ultraviolette Licht auch in die Flüſſigkeiten eindringen, dafür läßt die Abſorption nach. *Waſſer iſt von den flüſſigen Stoffen äußerſt durchläſſig.* Nach *Kreußler* abſorbiert

*) Ueber die Durchführung, ob der Nährboden offen oder mit Glasdeckel (also durch Glas) bestrahlt wurde, kann ich nichts angeben, da mir die Arbeit nur als Referat vorgelegen hat.

reines deſt. Waſſer bei einer 17 mm hohen Schicht folgende Wellenlängen des U. V. in %:

300	240	220	200	193	186	mμ
2,5	5,2	9,2	14,2	24,5	69	%

In der atmoſphäriſchen Luft findet bei der Wellenlänge von 230 mμ noch keine Abſorption ſtatt, während bei 186 mμ 8,8 von 100 abſorbiert werden.

Neben der Abſorptionsfähigkeit der verſchiedenen Nährlöſungen iſt auch die Durchläſſigkeit ihrer Einſchlußgefäße gegenüber den U. V.-Strahlen von großer Bedeutung. Nach *Pflüger* iſt die Abſorption einer 9 mm dicken Quarzplatte bei

222	214	203	186	mμ
5,8	8	16,4	32,8	%

Die Hanauer Quarzlampengeſellſchaft gibt für ihre U. V.-Lampen Wellenlängen bis zu 150 mμ an. Folglich muß Quarz bei entſprechender Dicke für dieſe, in das *Schuhmann'ſche Strahlengebiet* reichende Wellenlängen noch durchdringbar ſein. Gewöhnliches Glas von 1,35 mm Stärke hindert, wie *Thiele* und *Wolf* feſtſtellen, von der Wellenlänge 290 mμ ab ſämtliche Strahlen am Durchtritt. Schon bei 310 mμ iſt eine Abſorption deutlich erkennbar.

Meine Aufgabe war es, in geeigneten Verſuchen die bakterizide Nachwirkung der Ultraviolett-Strahlen feſtzulegen und wenn möglich urſächlich näher zu beſtimmen.

B. Versuchsanordnungen

26 ccm Waſſer wurden bei einer Schichthöhe von 20 mm in ſterilen Bechergläſern aus Jenaer Neutralglas in 29 cm mittlerer Entfernung vom Quarzbrenner offen beſtrahlt. Nach der jeweiligen Belichtungszeit blieben die nun mit einem ſterilen Glasdeckel verſehenen Gläſer mit den unter denſelben Bedingungen hergeſtellten, aber unbeſtrahlten Kontrollen im Eisſchrank bei 5° C. ſtehen. Nach Verlauf von ein bis zwei Stunden wurden die Gläſer mit einer Oeſe einer Coli-Aufſchwemmung beimpft. Um die Einwirkung des beſtrahlten Waſſers auf die Bakterien feſtſtellen zu können, blieben ſie 24 Stunden im Dunkeln bei Zimmertemperatur ſtehen. Es wurden dann mit je 1 ccm Waſſer für jeden Verſuch drei Agarplatten gegoſſen, die 24 Stunden in den Brutſchrank bei 37° kamen. In manchen Fällen wurden die Agarplatten 48 und 72 Stunden bebrütet, um eine eventuelle Hemmung im Wachstum der Bakterien feſtzuſtellen. Die Kolonien wurden je nach der Anzahl entweder mit dem Mikroſkop (Methode *Heim)* oder mit Tuſche ausgezählt.

Als Lichtquelle diente die Analyſenquarzlampe „Original Hanau“, die bei einer Gleichſtromſpannung von 110 Volt arbeitete. Die Stromſtärke wurde ſtändig durch ein eingeſchaltetes Ampèremeter kontrolliert. Sie betrug nach fünf Minuten Brenndauer annähernd 4 Ampère. Der eigentliche Leiſtungsverbrauch des Brenners war bei einer Polklemmenſpannung von 70 bis 80 Volt ungefähr 280 bis 320 Watt.

Als Teſtmaterial benütze ich das Bakt. coli B. Von einer gewöhnlich vierſtündigen Aufſchwemmung in alk. Brühekultur pH = 7,6, wurde mit ſterilem Waſſer eine Verdünnung 1:100 hergeſtellt. Daraus entnahm ich volle Oeſen und beimpfte das Waſſer. Die Ausſaat ſchwankte nach dieſen Angaben zwiſchen 5—20 000 Keimen pro ccm.

C. Vorversuche *)

1. *Zunächſt beſtrahlte ich aus der Würzburger Waſſerleitung friſch entnommenes Waſſer.* Die durch Zählplatten gewonnene Kolonienzahl in den beſtrahlten Proben ließ ſchon eine Verminderung der Keime gegenüber den Kontrollen beobachten. Dabei konnte ich feſtſtellen, daß dieſe Verringerung abhängig war von der Zeit, die verſtrich zwiſchen Beſtrahlung und Beimpfen. Um die Wirkung nun unter den gleichen Verhältniſſen zu erzielen, wurde dieſe Zeit in den folgenden Verſuchen, wo jeweils eine Stunde beſtrahlt wurde, auf 1½ Stunden nach der Beſtrahlung feſtgelegt.

II. Die verſchiedenen *Belichtungszeiten* ließen ebenfalls eine mehr oder weniger ſtarke Verminderung der Keime in den Verſuchen erkennen. *Eine längere Beſtrahlungsdauer zeigte einen größeren Erfolg.*

III. Dieſelbe Wirkung erhielt ich beim *Aendern des Abſtandes des zu beſtrahlenden Waſſers vom Quarzbrenner.* Für die U. V.-Strahlen gilt wie für die übrigen Strahlen das Geſetz: Die Intenſität des Lichtes iſt proportional dem Quadrat der Entfernung. In den folgenden Unterſuchungen wurde der Abſtand auf 19 cm feſtgelegt.

IV. a) Es lag nun die Vermutung nahe, wie ſie *Jolaſſe* und *Lauſter* ausgeſprochen haben, daß die geringſten Mengen von organiſchen Stoffen durch die U. V.-Strahlen aktiviert werden und die Bakterien abtöten. Das Würzburger Leitungswaſſer hat einen Gehalt an organiſchen Subſtanzen, welcher durchſchnittlich dem Verbrauch von 2—4 mg Kaliumpermanganat im Liter entſpricht. Ich verſuchte deshalb, eine dieſen Werten annähernd gleiche Löſung herzuſtellen. In 500 ccm doppelt deſt. Waſſer wurden 50 mg Wittepepton in einem Quarzkolben gelöſt und zwanzig Minuten im Autoklaven ſteriliſiert.

Das doppelt deſt. Waſſer ſtellte ich mir ſelbſt mit einer Quarzapparatur her, ſodaß eine Verunreinigung durch gewöhnliches Glas ausgeſchloſſen war.

*) Ich ſehe hier von Zahlenangaben ab.

In Verſuchsreihen mit 25 ccm aqua bideſt. + 1 ccm Wittpeptonlöſung in Bechergläſern und in reinen ſterilen Quarzſchalen *) mit 50 ccm doppelt deſt. Waſſer + 2 ccm Wittpeptonlöſung bei einer Beſtrahlungsdauer von 1 Stunde pro Verſuch, konnte ich ebenfalls dieſe Bakterizidie erhalten.

b) Dieſelben Verſuchsreihen führte ich mit einer *Traubenzuckerlöſung* reinſt (Merck) durch. 50 mg Traubenzucker wurden in 500 ccm aqua bideſt. gelöſt und 20 Minuten im Autoklaven ſterilisiert. Von dieſer Löſung wurden wiederum jeweils 1 ccm auf 25 ccm bideſt. Waſſer oder 2 ccm auf 50 ccm in Quarzſchalen gegeben. Die Kontrollſchalen und -gläſer blieben bei Zimmertemperatur im Dunkeln ſtehen. Je zehn Verſuchsreihen in Quarz und Glas zeigten eindeutig eine viel größere, in manchen Fällen bis zu 99-prozentige Abnahme der Keime in den beſtrahlten Löſungen, während in den Kontrollen eine Verminderung im Mittel bis zu 50 Prozent ſtattfand.

V. Dieſes Ergebnis veranlaßte *beſtrahltes, vollkommen reines Waſſer auf bakterizide Nachwirkung zu unterſuchen.*

In den neuen Verſuchsreihen änderte ich die Durchführung dahingehend ab, daß ich die Kontrollſchalen nicht mehr im Eisſchrank, ſondern bei 22° im Brutſchrank und nach dem Beimpfen ebenfalls in demſelben Brutſchrank mit dem beſtrahlten Verſuch zuſammenſtehen ließ.

Die Reſultate aus zehn Verſuchsreihen zeigten einwandfrei, daß auch *bei chemiſch reinſtem doppelt deſt. Waſſer**) die beſtrahlten Proben Keimverminderung gegenüber den Kontrollen aufweiſen.* Durch Belichtung mit der Quarzlampe iſt Waſſer befähigt worden, gegen nachträglich eingeſäte Bakterien bakterizid zu wirken.

D. Die Untersuchungen auf indirekte Wirkungen

I. Es war jetzt von größtem Intereſſe, welchem Umſtande dieſe bakterizide Wirkung zugeſchrieben werden mußte. Ob vielleicht, wie Späth ſich ausdrückt, *Sekundärſtrahlen* auftreten? Ich unterſuchte deshalb beſtrahlte Waſſerproben, indem ich hochempfindliche fotografiſche Platten auf dieſe Schalen legte und in der Dunkelkammer eine Stunde einwirken ließ. Es zeigte ſich beim Entwickeln eine der Schale entſprechende, kreisrunde dunklere Zone, die aber bei der Kontrollſchale ebenfalls auf der Platte ſichtbar war. Folglich konnte es nur eine durch das Waſſer bedingte Quellung der Gelatineſchicht ſein. Dieſe Vermutung wurde dadurch beſtätigt, daß, nachdem die Platte trocken war, dieſe vollkommen gleich erſchien.

*) Die Quarzschalen wurden nach jedem Versuch etwa 10 Minuten lang mit einem 3-flammigen Teclubrenner zum Glühen gebracht und langsam abkühlen lassen. Bei geeigneter Temperatur überdeckte ich sie mit einem Glasdeckel.

**) Die Reinheit des bidest. Wassers wurde verschiedentlich durch Eindampfen in reinen Platinschalen nachgeprüft. Es blieb niemals ein sichtbarer noch durch Wägen feststellbarer Rückstand übrig.

II. Weiter könnte man annehmen, daß bei Beſtrahlung von Quarz, der chemiſch aus *Kieſelſäureanhydrit* zuſammengeſetzt iſt, kleinſte Mengen abgeſpalten werden und daß dieſe Spuren von gelöſter Kieſelſäure die Bakterizidie bedingen. Unterſuchungen ſind hierüber ſchon von *Prica* angeſtellt worden, der fand, daß Mengen von 1,4 mg kolloidal gelöſter Kieſelſäure in einem Liter deſt. Waſſer noch ſtark bakterizid wirken. Um dieſe geringen Mengen von Kieſelſäure nachweiſen zu können, benütze ich die von *Feigel* angegebene Methode: Auf Filtrierpapier wird je ein Tropfen der Probe- und Molybdatlöſung gebracht, über einem Drahtnetz ſchwach erwärmt, mit Benzidin angetüpfelt und über Ammoniak entwickelt. Eine Blaufärbung verweiſt auf das Vorliegen von Kieſelſäure. Die Erfaſſungsgrenze iſt 1 γ Kieſelſäure bei einer Grenzkonzentration von 1:50 000.

In meinen Verſuchen beſtrahlte ich die Quarzſchalen mit 50 ccm doppelt deſt. Waſſer und prüfte mit der Tüpfelreaktion nach 1, 2, 4, 6, 10 und 24 Stunden; ebenſo wurden die Kontrollſchalen unterſucht. Die Tüpfelreaktionen fielen alle negativ aus. Weiterhin machte ich noch einen Verſuch mit ſieben waſſergefüllten beſtrahlten Schalen und ebenſo vielen unbehandelten Kontrollen. Ich ließ dieſe dreizehn Tage lang im Brutſchrank bei 22° ſtehen. *Auch hierbei konnte ich keine Kieſelſäure nachweiſen.* Danach ſcheint es alſo ausgeſchloſſen zu ſein, die Kieſelſäure in meinen Verſuchen für die bakterizide Nachwirkung verantwortlich zu machen.

III. Eine dritte Möglichkeit, nämlich die Bildung von *Waſſerſtoffſuperoxyd*, wäre mit der bakteriziden Nachwirkung in Zuſammenhang zu bringen. Im Schrifttum ſind Angaben vorhanden, die beweiſen, daß Waſſerſtoffſuperoxyd in einer Konzentration von 1:10 000 noch einen merklichen Einfluß auf die Bakterien ausübe *(Küſter)*. Auch dieſe Frage wurde von mir unterſucht. *Feigel* gibt eine Methode zum Nachweis von Waſſerſtoffſuperoxyd an, nach der ſich ſchwarzes Bleiſulfid mit Waſſerſtoffſuperoxyd in weißes Bleiſulfat umſetzt ($PbS + 4\,H_2O_2 \rightarrow PbSO_4 + 4\,H_2O$). Filtrierpapier wurde mit Bleiazetatlöſung durchtränkt, mit Schwefelwaſſerſtoff angeblaſen und im Vakuumexikator getrocknet. Wird auf dieſes imprägnierte Papier ein Tropfen der Probelöſung gebracht, ſo entſteht je nach der Menge von H_2O_2 ein weißer Fleck oder Kreisring auf dem hellbraunen Papier.

In zehn Verſuchen habe ich mit einer Kapillare Proben entnommen und niemals hat ſich eine Aufhellung in dem beſtrahlten wie in den Kontroll-Verſuchen gezeigt. Um auch überzeugt zu ſein, wie weit dieſe Reaktion nachweisbar iſt, ſtellte ich mir eine friſche Waſſerſtoffſuperoxydlöſung aus einer eisgekühlten neuen Perhydrollöſung (Merck) her. 1 ccm Perhydrol wurde mit 99 ccm bideſt. Waſſer verdünnt. Von dieſer Konzentration ſtellte ich mir noch weitere Verdünnungen 1:10, 1:20, 1:30, 1:40, 1:50 und 1:100 her.

Die Zahlen unter den Kreiſen in der erſten Reihe der Abbildung bedeuten eine Konzentration von Perhydrol in 1000 ausgedrückt. Bei einer

Verdünnung 1:100 000, das entſpricht einer Menge von 3 γ H_2O_2 auf 100 ccm, iſt noch deutlich eine Aufhellung ſichtbar. Zum Vergleich habe ich in der zweiten Reihe die Tüpfelreaktion mit einem beſtrahlten Verſuch ausgeführt, und zwar vor und nach der Beſtrahlung 1½ Stunden und 24 Stunden nach der Beſtrahlung. *Das Filtrierpapier blieb in dieſen Kreiſen unverändert.*

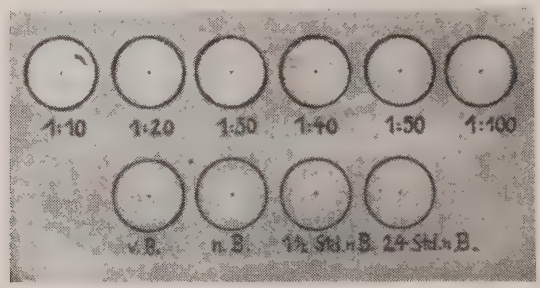

Abb. 1.

Aus der Abbildung iſt klar erſichtlich, daß bei Beſtrahlung des Waſſers kein H_2O_2 *in der Konzentration entſteht, wie es von mir nachgewieſen wurde.* In noch geringeren Spuren iſt es ausgeſchloſſen, eine bakterizide Wirkung hervorzurufen, die innerhalb 24 Stunden alle eingeſäten Keime vernichtet.

IV. Weiterhin wäre noch an die Entſtehung von Ozon in der Luft und ſeine Löslichkeit in Waſſer zu denken. Es iſt allgemein bekannt, daß die ultraviolette Lampe die Luft ozoniſiert. Ich ſelbſt konnte mich durch den läſtigen Geruch davon überzeugen. Da aber der Nachweis von H_2O_2 eigentlich ein Beweis für die Anweſenheit von nascierendem Sauerſtoff iſt, ſo dürfte dieſe Methode auch als Ergebnis für den Nachweis von Ozon gelten, zumal Ozon ebenſo wie H_2O_2 den Sauerſtoff abſpaltet. Nur Sauerſtoff im „ſtatus nascendi" vermag das Bleiſulfid zu oxydieren.

Die Entſtehung von Ozon konnte ich folgendermaßen nachweiſen: Von dem wie oben hergeſtellten Filtrierpapier benetzte ich die eine Hälfte mit bideſt. Waſſer und legte den Papierſtreifen in 10 cm Entfernung vom Brenner eine Minute lang unter die eingeſchaltete Quarzlampe. Es zeigte ſich ſofort eine Aufhellung der mit dem Waſſer getränkten Hälfte, die ungefähr der Verdünnung 1:100 000 auf der obigen Abbildung entſpricht.

V. Schließlich könnte bei der Beſtrahlung mit U. V.-Licht ſchweres Waſſer entſtehen, das die bakterizide Nachwirkung bedingen würde. Wie die Unterſuchungen von *Roux* und *Rivière* zeigen, verhalten ſich die Bakterien (Bact. coli, typhi, paratyphi uſw.) in einer ſchwachen Konzentration von ſchwerem Waſſer ähnlich wie in deſt. Waſſer. Damit dürfte auch dieſe Annahme hinfällig ſein.

E. Die Eigenschaften des bidest. Wassers in Bezug auf Bakterizidie

Man kann nun behaupten, *daß die Bakterien in deſt. Waſſer abſterben.* Daß dies der Fall iſt, beweiſen die Kontrollen. Innerhalb von 24 Stunden war aber in den Kontrollverſuchen niemals ein ſo geringer Wert wie in den beſtrahlten Verſuchen feſtzuſtellen. Gewöhnlich blieben in den unbehandelten Kontrollen etwa über 40 Prozent der eingeſäten Keime lebend. Die Variabilität hängt natürlich von der verimpften Menge der Bakterien und der Nährbrühe ab. Sie konnte nicht in allen Fällen gleich ſein, da ich mit der Oeſe keine konſtanten Mengen verimpfte. Dies zeigt ſich auch in der Anzahl der ausgeſäten Keime, die 5—20 000 betrug. Wichtig iſt, daß ich immer eine vierſtündige Brühekultur verwendete; denn wie *Ficker* angibt, ſcheint die Reſiſtenz der Keime im deſt. Waſſer von ihrem Alter weſentlich abhängig zu ſein: Die Individuen jüngerer Vegetation trotzten den Schädigungen der Konzentrationsänderung und des Ueberführens in ein nährſtoffreies Medium viel energiſcher als die der älteren Kultur.

F. Kennzeichnung der U. V.-Nachwirkung im bidest. Wasser

I. *Beſtrahlungsdauer 5 Stunden; Waſſer bleibt in beſtrahlten Quarzſchalen*

In neuen Verſuchen ſuchte ich die *bakterizide Nachwirkung der U. V.-Strahlen näher zu beſtimmen.* Um jederzeit überzeugende Ergebniſſe zu erhalten, ſteigerte ich die Beſtrahlungsdauer auf 5 Stunden pro Verſuch. Zunächſt folgen die Ergebniſſe aus ſechs Verſuchen, die eindeutig den Erfolg zeigen. Die angegebenen Prozentzahlen beziehen ſich auf die jeweilige Ausſaatmenge, die gleich 100 Prozent geſetzt iſt.

Verſuchsreihe 1

Quarzſchalen mit 50 ccm bideſt. Waſſer, 5 Stunden beſtrahlt, nach 1½ Stunden beimpft und 24 Stunden im Brutſchrank bei 22° ſtehen gelaſſen.

	Ueberlebende Keime	
	beſtr. Waſſer	Kontrolle
I	0,70 %	58,01 %
II	0,08 %	54,85 %
III	0,00 %	51,85 %
IV	0,25 %	71,66 %
V	0,25 %	85,88 %
VI	1,25 %	44,99 %

II. *Beſtrahlungsdauer 5 Stunden; Waſſer wird in nicht beſtrahlte Quarzſchalen umgegoſſen*

Die folgenden Verſuche änderte ich dahin ab, daß ich zur Zeit des Beimpfens, alſo 1½ Stunden nach der Beſtrahlung, das exponierte Waſſer und

die Kontrolle je zur Hälfte in zwei neue, sterile und unbestrahlte Schalen ausgoß. Diese wurden dann wie üblich mit einer Oese beimpft und gleichzeitig die Aussaat bestimmt.

Versuchsreihe 2

Quarzschalen mit 50 ccm bidest. Wasser, 5 Stunden bestrahlt, nach 1½ Stunden eine Hälfte in neue, unbestrahlte Schale ausgegossen, beimpft, 24 Stunden im Brutschrank bei 22° stehen gelassen.

		Ueberlebende Keime	
		bestr. Wasser	Kontrolle
I.	1. Hälfte	0,00 %	62,88 %
	2. „	0,19 %	59,59 %
II.	1. „	0,76 %	68,72 %
	2. „	1,06 %	58,56 %
III.	1. „	0,94 %	44,95 %
	2. „	0,50 %	49,17 %
IV.	1. „	0,51 %	20,72 %
	2. „	0,84 %	36,69 %
V.	1. „	3,94 %	52,22 %
	2. „	4,51 %	80,13 %
VI.	1. „	0,29 %	47,91 %
	2. „	3,28 %	87,64 %

Die Ergebnisse zeigen, *daß die bakterizide Wirkung eine Eigenschaft des bestrahlten Wassers ist;* denn annähernd dieselben Werte finden sich in der ausgegossenen Hälfte des Wassers wieder. Es wäre nun denkbar, daß Quarz durch bestrahltes Wasser in einen Zustand gerät, in dem er dem Wasser eine keimtötende Kraft verleiht. Daß dies nicht der Fall ist, habe ich durch weitere Versuche bestätigt gefunden.

III. *Bestrahltes Wasser (5 Stunden) wird in unbestrahlte Porzellanschalen umgegossen*

In der Versuchsreihe III wurde die Hälfte des Wassers der bestrahlten und der Kontrollschale in je eine chemisch reine, sterile Porzellanschale ausgegossen.

Versuchsreihe 3

Quarzschalen mit 50 ccm bidest. Wasser, 5 Stunden bestrahlt, nach 1½ Stunden eine Hälfte in unbestrahlte, sterile Porzellanschalen ausgegossen, beimpft und 24 Stunden im Brutschrank bei 22° stehen gelassen.

		Ueberlebende Keime	
		bestr. Wasser	Kontrolle
I.	1. Hälfe in Quarz	3,58 %	56,61 %
	2. „ „ Porzellan	4,82 %	78,97 %
II.	1. „ „ Quarz	2,08 %	26,92 %
	2. „ „ Porzellan	3,59 %	28,06 %
III.	1. „ „ Quarz	3,88 %	16,76 %
	2. „ „ Porzellan	7,29 %	21,86 %

IV. *Die Abhängigkeit der Nachwirkungen von der Temperatur (5°, 22°, 37°)*

Indem ich Quarzſchalen in der Verſuchsreihe 4 nicht im Brutſchrank bei 22°, ſondern im Eisſchrank bei durchſchnittlich 5° aufbewahrte, glaubte ich eine Abhängigkeit zwiſchen Bakterizidie und Temperatur zu finden.

Verſuchsreihe 4

Quarzſchalen mit 50 ccm bideſt. Waſſer, 5 Stunden beſtrahlt, nach 1½ Stunden beimpft, bei 5° im Eisſchrank, 24 Stunden ſtehen gelaſſen.

	Ueberlebende Keime	
	Beſtr. Waſſer	Kontrolle
I.	1,79 %	47,60 %
II.	3,69 %	83,45 %
III.	0,19 %	56,14 %

Zur genaueren Prüfung des Einfluſſes der Temperatur ſind Vergleichswerte unerläßlich. Zu dem Zwecke wurden Proben bei 5° im Eisſchrank, bei 22° und bei 37° im Brutſchrank aufbewahrt. Von 50 ccm bideſt. Waſſer wurden 1½ Stunden nach der Beſtrahlung und Beimpfung je 10 ccm in drei ſterile, mit Ueberfalldeckel verſehene Quarzröhrchen gegoſſen und bei den angegebenen Temperaturen aufbewahrt. Ebenſo wurde das Waſſer in den Kontrollſchalen in drei Quarzröhrchen aufgeteilt und bei den angegebenen Temperaturen ſtehen gelaſſen. Um eine raſche Verdunſtung des Waſſers bei 37° zu vermeiden, wurde mittels Leukoplaſt der Ueberfalldeckel mit dem Quarzröhrchen ringsum verklebt.

Verſuchsreihe 5

Quarzſchalen mit 50 ccm bideſt. Waſſer, 5 Stunden beſtrahlt, nach 1½ Stunden beimpft, davon drei Quarzröhrchen mit je 10 ccm gefüllt und bei 5°, 22° und 37° 24 Stunden ſtehen gelaſſen.

		Ueberlebende Keime	
		Beſtr. Waſſer	Kontrolle
	37°	0,01 %	18,39 %
I.	22°	1,88 %	67,20 %
	5°	1,51 %	42,25 %
	37°	0,00 %	85,54 %
II.	22°	0,02 %	67,68 %
	5°	0,68 %	99,38 %
	37°	0,00 %	44,30 %
III.	22°	5,17 %	53,89 %
	5°	1,89 %	50,98 %

Vergleicht man obige Zahlen, ſo iſt nur eine *geringe prozentuale Verringerung* der überlebenden Keime bei der *höheren Temperatur feſtſtellbar.* Aehnliches zeigen relativ auch die Kontrollverſuche. Man kann ſich das ſo erklären: Bei höherer Temperatur iſt das Eiweiß der Bakterien

leichter quellbar und auch der osmotiſche Prozeß iſt ein anderer, indem die Geſchwindigkeit der Waſſerbewegung mit wachſender Temperatur eine Steigerung erfährt und die Bakterien daher eher zugrunde gehen.

V. *Gehen die wirkſamen U.V.-Strahlen durch eine 3 mm dicke Quarzplatte?* *)

a) *Platte liegt auf der Quarzſchale*

Für die weiteren Unterſuchungen habe ich auf die Quarzſchalen eine Quarzplatte von 3 mm Dicke gelegt und 3—5 Stunden beſtrahlt. *Die bakterizide Nachwirkung blieb jetzt aus.* Das zeigte ſich in fünf Verſuchen.

Verſuchsreihe 6

Quarzſchalen mit 50 ccm bideſt. Waſſer, Quarzplatte liegt auf den Schalen, 3—5 Stunden beſtrahlt, nach 1½ Stunden beimpft und 24 Stunden im Brutſchrank bei 22° ſtehen gelaſſen.

	Ueberlebende Keime	
	Beſtr. Waſſer	Kontrolle
I.	86,29 %	80,20 %
II.	88,07 %	102,67 %
III.	32,83 %	46,80 %
IV.	40,71 %	91,38 %
V.	45,84 %	91,54 %

In keinem Fall konnte ich einen weſentlichen keimtötenden Einfluß des beſtrahlten Waſſers feſtſtellen. Durch das Dazwiſchenſchalten der Quarzplatte war die zurückbleibende bakterizide Wirkung nicht aufgetreten. Die Urſache hierfür kann ſein: 1. Die zwiſchengeſchaltete Quarzplatte abſorbiert oder reflektiert eine beſtimmte Wellenlänge des ultravioletten Lichtes; 2. die auf die Quarzſchale gelegte Platte verhindert den Zutritt der Luft.

b) *Platte liegt nicht auf der Quarzſchale, ſondern darüber*

In zwei weiteren Verſuchen habe ich folgende Anordnung getroffen: Die Quarzplatte wurde in 10 cm Entfernung vom Brenner und 9 cm von der Quarzſchale angebracht. Die Umgebung der Platte wurde durch einen Schirm abgedeckt, ſodaß nur die Strahlen, welche die Platte paſſiert hatten, in die Quarzſchale einfallen konnten. Dadurch hatte die Luft wieder Zutritt zum Waſſer.

*) In den bisherigen Versuchen benützte ich einen Quarzbrenner, der ungefähr 10 Jahre schon in Betrieb war. Die Intensität des ultravioletten Lichtes wurde, wie ich im Verlauf meiner Arbeiten beobachtete, immer geringer und deshalb mußte ich, um wirklich eindeutige Ergebnisse zu erzielen, sehr lange Bestrahlungszeiten anwenden. Der neue Brenner besaß eine ungefähr 4-fach stärkere Lichtintensität der ultravioletten Strahlen gegenüber dem alten. Die Lichtstärke habe ich mit dem Fotometer und mit dem an der Quarzanalysenlampe angebrachten Uviolglas nachgeprüft. Es ist verständlich, daß ich um den gleichen Effekt wie vorher zu erzielen, eine Belichtungszeit benötigte, die nur den vierten Teil der bisherigen betrug.

Verſuchsreihe 7

Quarzſchalen mit 50 ccm bideſt. Waſſer, Quarzplatte befindet ſich über den Schalen, 5 Stunden beſtrahlt, nach 1½ Stunden beimpft und 24 Stunden ſtehen gelaſſen.

	Ueberlebende Keime	
	Beſtr. Waſſer	Kontrolle
I.	0,24 %	82,90 %
II.	0,05 %	99,96 %

Ergebnis: Die zurückbleibende bakterizide Kraft des Waſſers zeitigte nach dieſer Anordnung das gleiche Reſultat wie bei der Beſtrahlung unter Weglaſſung der Quarzplatte.

Daraus läßt ſich ſchließen, daß die Abſorption bezw. Reflektion der Platte keinen Einfluß auf die keimtötende Nachwirkung des beſtrahlten Waſſers haben kann; denn das Abſorptions- bzw. Reflektionsvermögen einer Quarzplatte gegenüber einer beſtimmten Wellenlänge iſt unabhängig von der Entfernung der Platte von der Lichtquelle. Es dürfte alſo nur die zweite Urſache in Frage kommen.*)

VI. *Entſtehen die bakteriziden Nachwirkungen ſofort oder erſt nach längerer Beſtrahlung?*

Es war jetzt von Intereſſe, mit dem neuen Brenner die *Mindeſtbeſtrahlungszeit* feſtzuſtellen, bei der noch eine genügende Wirkung des Waſſers vorhanden war, um die verimpften Bakterien abzutöten. In der Verſuchsreihe 8 folgen die Ergebniſſe aus drei Verſuchen bei dreiſtündiger Belichtungszeit.

Verſuchsreihe 8

Quarzſchalen mit 50 ccm bideſt. Waſſer, 3 Stunden mit neuem Brenner beſtrahlt, nach 1½ Stunden beimpft, 24 Stunden im Brutſchrank bei 22° ſtehen gelaſſen.

	Ueberlebende Keime	
	Beſtr. Waſſer	Kontrolle
I.	0,00 %	70,00 %
II.	0,35 %	70,00 %
III.	0,00 %	74,33 %

Die Verſuchsreihe 9 veranſchaulicht die Ergebniſſe bei einſtündiger Beſtrahlung des Waſſers.

Verſuchsreihe 9

Quarzſchalen mit 50 ccm bideſt. Waſſer, 1 Stunde mit neuem Brenner beſtrahlt, nach 1½ Stunden beimpft, 24 Stunden im Brutſchrank bei 22° ſtehen gelaſſen.

*) Untersuchungen über die Anwesenheit von Luft bei der Bestrahlung und deren Einfluß auf die bakterizide Kraft des Wassers werden z. Z. noch durchgeführt.

	Ueberlebende Keime	
	Beſtr. Waſſer	Kontrolle
I.	0,00 %	22,98 %
II.	0,00 %	92,34 %
III.	0,85 %	83,76 %

Aus Tabelle 9 iſt erſichtlich, daß man bei einſtündiger Expoſition im U. V.-Licht der Quarzlampe noch eine ziemlich ſtarke bakterizide Wirkung des Waſſers erzielen kann.

Verringert man dagegen die Beſtrahlungsdauer noch mehr, etwa auf eine halbe Stunde, ſo ſind die Ergebniſſe unterſchiedlich. Von vier Verſuchen zeigen nurmehr zwei Verſuche eine bakterizide Nachwirkung, während die übrigen zwei keine Keimverminderung aufweiſen.

Verſuchsreihe 10

Quarzſchalen mit 50 ccm bideſt. Waſſer, ½ Stunde mit neuem Brenner beſtrahlt, nach 1½ Stunden beimpft, 24 Stunden im Brutſchrank bei 22° ſtehen gelaſſen.

	Ueberlebende Keime	
	Beſtr. Waſſer	Kontrolle
I.	0,00 %	54,10 %
II.	12,30 %	86,31 %
III.	77,53 %	84,00 %
IV.	79,19 %	30,00 %

Auf Grund dieſer Verſuche dürfte ſomit die Belichtungszeit von einer Stunde als die unterſte Grenze, um noch eine regelmäßige einwandfreie bakterizide Wirkung zu erhalten, gelten. Kürzere Einwirkung der U. V.-Strahlen auf das Waſſer bringt die Ergebniſſe ins Schwanken.

VII. *Wie lange hält die bakterizide Nachwirkung an?*

Eingangs habe ich für alle Verſuche die Zeit der Beimpfung auf 1½ Stunden nach Beſtrahlung feſtgelegt. Um mir eine genauere Vorſtellung machen zu können, nach wieviel Stunden, bzw. Tagen eine bakterizide Nachwirkung noch vorhanden iſt, habe ich folgende Verſuche der Verſuchsreihe 11 und 12 angeſtellt.

Zunächſt folgen die Ergebniſſe aus ſechs Verſuchen bei einer Beſtrahlungsdauer von 2 Stunden. *Das Waſſer in den beſtrahlten Proben und Kontrollen wurde 24 Stunden im Brutſchrank bei 22° aufbewahrt und dann mit Coli verimpft und wiederum einen Tag bei derſelben Temperatur aufbewahrt.*

Verſuchsreihe 11

Quarzſchalen mit 50 ccm bideſt. Waſſer, 2 Stunden beſtrahlt, 24 Stunden im 22°-Brutſchrank aufbewahrt, dann verimpft und wiederum 24 Stunden ſtehen gelaſſen.

	Ueberlebende Keime	
	Beſtr. Waſſer	Kontrolle
I.	1,99 %	36,87 %
II.	11,99 %	86,44 %
III.	1,57 %	23,02 %
IV.	0,60 %	66,67 %
V.	0,33 %	60,00 %
VI.	0,07 %	47,88 %

Man kann daraus erſehen, daß in den meiſten Fällen noch nach 24 Stunden eine erhebliche Abtötung der Bakterien ſtattfindet. Die Kontrollverſuche laſſen nichts weſentliches erkennen. Sie ſind im Mittel auf ungefähr 50 Prozent der Ausſaat zurückgegangen.

Die Verſuchsreihe 12 gibt die Werte von fünf Verſuchen wieder, bei denen das Waſſer fünf Tage nach der Beſtrahlung beimpft wurde.

Verſuchsreihe 12

Quarzſchalen mit 50 ccm bideſt. Waſſer, 2 Stunden beſtrahlt, fünf Tage im 22°-Brutſchrank aufbewahrt, dann beimpft, nochmals bei der ſelben Temperatur 24 Stunden ſtehen gelaſſen.

	Ueberlebende Keime	
	Beſtr. Waſſer	Kontrolle
I.	1,59 %	10,95 %
II.	30,33 %	44,44 %
III.	2,28 %	5,99 %
IV.	30,77 %	22,93 %
V.	6,40 %	65,79 %

Die Ergebniſſe der Verſuchsreihe 12 in den beſtrahlten wie in den unbehandelten Proben ſind unterſchiedlich. Ein Verſuch zeigt noch eine ſtarke bakterizide Wirkung, während ſie in den übrigen Verſuchen ausblieb. Auf der anderen Seite ſieht man in drei Kontrollen ſehr niedrige Werte. Ob vielleicht die Kohlenſäure beim längeren Stehen des bideſt. Waſſers ein Rolle ſpielt, müßten weitere Unterſuchungen ergeben. *Jedenfalls tritt der keimtötende Einfluß des mit U. V.-Strahlen behandelten Waſſers nach fünf Tagen mit wechſelndem Erfolg auf.*

VIII. *Die Nachwirkungen bei Verdünnungen mit unbeſtrahltem bideſt. Waſſer*

Für weitere Unterſuchungen ſtellte ich mir von dem beſtrahlten Waſſer verſchiedene *Verdünnungsreihen* mit doppelt deſt. Waſſer ſo z. B. 1:50, 2:50 und 3:50 her. Dieſe Verdünnungen prüfte ich nun auf ihre bakterizide Nachwirkung. Die Verſuche habe ich wie bisher üblich durchgeführt. In keiner Verdünnungsreihe konnte ich eine ſtärkere Abtötung der Colibakterien als in den zugehörigen Kontrollen feſtſtellen. Erſt bei einer Verdünnung 1:1, d. h. 25 ccm beſtrahltes bideſt. Waſſer + 25 ccm bideſt. Waſſer, habe ich eine Nachwirkung beobachtet. Die Verſuchsreihe 13 gibt

die aus drei Verdünnungsreihen gefundenen Werte wieder. Nach einer zweiſtündigen Beſtrahlungszeit wurden Verdünnungen 1:1 und 1:2 hergeſtellt.

Verſuchsreihe 13

Quarzſchalen mit 50 ccm bideſt. Waſſer, 2 Stunden beſtrahlt, nach 1½ Stunden Verdünnungsreihen hergeſtellt, verimpft und 24 Stunden im 22°-Brutſchrank ſtehen gelaſſen.

	Ueberlebende Keime			
	Beſtr. Waſſer unverd.	Verd. 1:1	Verd. 1:2	Kontrolle
I.	1,06 %	5,05 %	58,82 %	92,68 %
II.	1,70 %	20,06 %	62,50 %	57,54 %
III.	0,08 %	4,68 %	38,47 %	52,00 %

Bei einer Verdünnung 1:1 war noch in drei Verſuchen eine keimtötende Wirkung des Waſſers zu erzielen. In ſtärkerer Verdünnung als 1:2 iſt dieſer Effekt ausgeblieben.

Das Verdünnungsverhältnis auf die Beſtrahlungszeit übertragen bedeutet, daß ſich bei der halben Belichtungsdauer wie in der Verſuchsreihe 13 ebenfalls noch eine bakterizide Wirkung erhalten muß. Dieſes Ergebnis ſtimmt mit dem gefundenen Minimum der Beſtrahlungsdauer von einer Stunde überein.

IX. *Die Abſterbeordnung der Bakterien bei der U. V.-Nachwirkung*

Um eine Ueberſicht über den Abſterbevorgang der Bakterien in beſtrahltem bideſt. Waſſer und in den unbehandelten Kontrollen zu gewinnen, änderte ich die Verſuche dahingehend ab, daß ich nach 1, 2, 4, 12, 18 und 24 Stunden nach dem Verimpfen jeweils für jeden Verſuch zwei Agarplatten herſtellte. Die Quarzſchalen wurden wie gewöhnlich zwei Stunden lang beſtrahlt. Die Verſuchsreihe 14 gibt die mittleren Werte aus ſechs Verſuchen wieder.

Verſuchsreihe 14

Quarzſchalen mit 50 ccm bideſt. Waſſer, 2 Stunden beſtrahlt, nach 1½ Stunden beimpft und nach 1, 2, 4, 12, 18 und 24 Stunden Agarplatten hergeſtellt.

Zeit	1	2	4	12	18	24 Std.
Beſtr. Waſſer	73,99	47,49	31,06	2,65	1,95	1,68 %
Kontrolle	94,01	85,04	79,50	70,87	69,98	50,41 %

Die erhaltenen Werte habe ich, mit kleinen Kreuzen bezeichnet, in ein Koordinatenſyſtem eingetragen (Abb. 2), in der die Menge der überlebenden Bakterien als Funktion der Zeit dargeſtellt iſt.

Die ausgezeichnete Linie in der Abb. 2 ſtellt den Abſterbevorgang der Bakt. im beſtrahlten Waſſer, die punktierte Linie den in den unbehandelten Kontrollen dar. Würde man nach vielen, kleineren Zeitabſchnitten

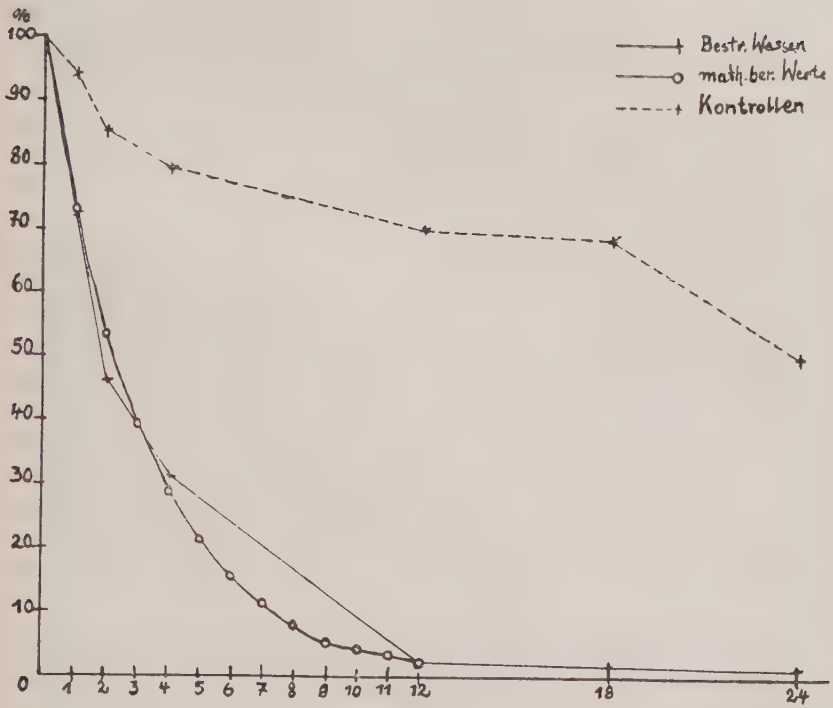

Abb. 2.

z. B. nach $^1/_4$, $^1/_2$, $^3/_4$ usw. Stunden die dazugehörige Anzahl der überlebenden Kolonien feststellen können, so würde die Linie, welche die bakterizide Wirkung des bestrahlten Wassers anzeigt, die Form einer Kurve annehmen, wie ich sie eingetragen habe. Die Voraussetzung dazu wäre natürlich eine größere Anzahl von Versuchen.

Die Kurve entspricht der von Madsen und Nyman gefundenen Exponentialkurve für die Wirkung von chemischen Desinfektionsmitteln für die die Gleichung lautet:

$$(1)\quad K\,(t_2 - t_1) = \ln \frac{a - x_1}{a - x_2} \quad \text{oder}$$

$$(2)\quad K = \frac{1}{t_2 - t_1} \ln \frac{a - x_1}{a - x_2}$$

wobei $a - x_1$ und $a - x_2$ wie bei der willkürlich gewählten Zeit t_1 und t_2 überlebende Anzahl der Keime und K die Desinfektionsgeschwindigkeits-

konſtante bedeutet. Sie entſpricht der Gleichung für monomolekulare Reaktionen: das ſind Reaktionen, bei denen nur eine Molekülgattung eine merkliche Aenderung ihrer Konzentration erfährt. Sie verlaufen ſo, daß die Menge des neu gebildeten Beſtandteiles in jedem Moment der Menge des noch vorhandenen urſprünglichen Körpers proportional iſt.

Durch Einführung der Brigg'ſchen Logarithmen nimmt die Gleichung 2 die Form an:

$$(3) \qquad K = \frac{\log (a - x_1) - 10 \quad (a - x_2)}{0{,}4343 \qquad (t_2 - t_1)}$$

Auf Grund dieſer Gleichung 3 berechnete ich für die angenommenen Kurvenpunkte $t_0 = 0$, $t_1 = 1$, $t_2 = 2$ und $t_4 = 4$ die jeweils zugehörige Desinfektionsgeſchwindigkeitskonſtante. Durch Variieren erhielt ich folgende ſechs Werte:

$K_1 = 0{,}30$ für t_0 und t_1
$K_2 = 0{,}29$ „ t_0 „ t_2
$K_3 = 0{,}29$ „ t_0 „ t_4
$K_4 = 0{,}44$ „ t_1 „ t_2
$K_5 = 0{,}29$ „ t_1 „ t_4
$K_6 = 0{,}21$ „ t_2 „ t_4

Der Mittelwert hieraus:

$K_m = 0{,}31$.

Mit Hilfe der Gleichung 3 für $K_m = 0{,}31$ und $t = 0$ bis $t = 12$ berechnete ich mir die entſprechenden Werte für $a - x$:

t	0	1	2	3	4	5	6
a — x	100,0	73,34	53,80	39,50	28,93	21,22	15,56
	7	8	9	10	11	12	
	11,41	8,37	4,86	4,50	3,30	2,42	

Die einzelnen Werte habe ich in obiges Kordinatenſyſtem (Abb 2) durch kleine Kreiſe eingetragen. Die Kurve gibt den annähernden Verlauf des Abſterbevorgangs der Bakterien im beſtrahlten Waſſer wieder.

X. *Iſt die U. V.-Nachwirkung einer oligodynamiſchen Wirkung ähnlich?*

Vergleicht man nun die Wirkung der Bakterizidie bei Beſtrahlung mit der der Oligodynamie, ſo läßt ſich eine Aehnlichkeit feſtſtellen. Ich habe aus der Arbeit: „Ueber den Einfluß der Temperatur bei oligodynamiſchen Verſuchen" von Mandel (S. 8, Tabelle 2) die mittleren Werte bei 20° entnommen und ſie in der folgenden Abb. 3 in ein Koordinatenſyſtem eingetragen.

„Cumaſima" 1:20 (Verdünnung mit Leitungswaſſer)

Zeit	2	4	6	8 Stunden
mittlerer Wert aus 15 Verſuchen	32,60 %	18,60 %	11,96 %	3,65 %

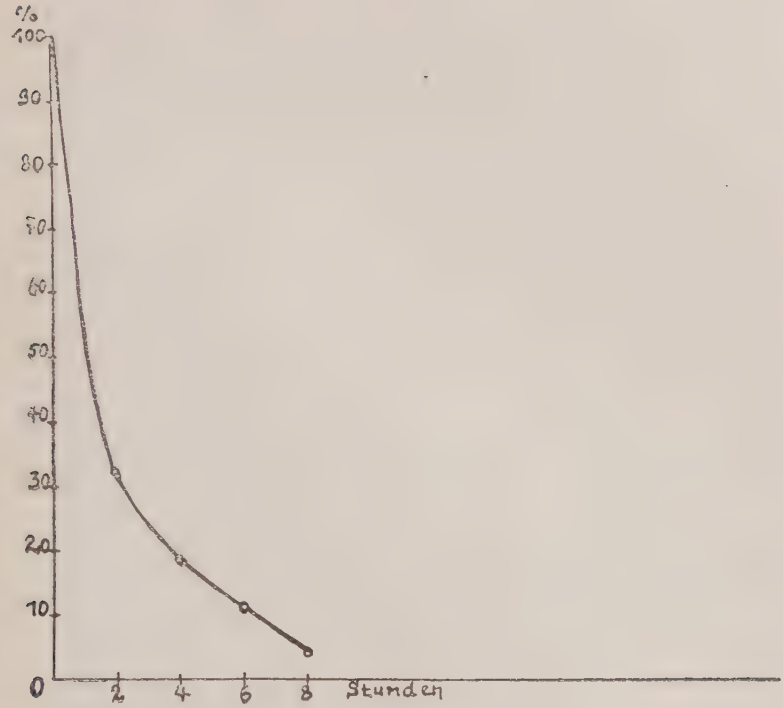

Abb. 3.

Die Kurve verläuft ähnlich der von mir gefundenen in der Abb. 2. Allerdings ist der *oligodynamische Einfluß stärker als die bakterizide Wirkung bei Ultravioletttbestrahlung.* Das zeigen schon die Prozentzahlen bei gleicher Einwirkungszeit. Während in meinen Versuchen nach acht Stunden (mathematisch berechnet) noch 8,37 % der Keime lebend sind, ist die Zahl bei der „Cumasima"-Verdünnung bereits auf 3,65 % gesunken. In Versuchen mit einer mittleren Aussaatmenge von 17 915, welche ungefähr der meinigen entspricht, erzielte *Mandel* schon nach acht Stunden völlige Abtötung der eingesäten Colibakterien.

Man kann daher die zurückbleibende bakterizide Kraft des mit ultravioletten Strahlen behandelten Wassers als eine abgeschwächte oligodynamische Wirkung auf die Mikroorganismen bezeichnen.

Ich habe weiter oben schon Versuche angeführt, in denen ich eine geringe Abhängigkeit der Temperatur in Bezug auf die Abtötung der Keime, sowohl in den bestrahlten Proben als auch in den Kontrollen fest-

ſtellen konnte. *Madſen* und *Nyman* geben für den größten Teil der chemiſchen Desinfektionsmittel die Norm an: Daß bei Zunahme der Temperatur um 10° die Desinfektionsgeſchwindigkeitskonſtante um das 2,5-fache erhöht wird. Dieſe Annahme konnte ich in einer vergleichenden Aufſtellung der verſchiedenſten Desinfektionsmittel von *Kliewe* und *Althaus* zum Teil beſtätigt finden. Für die oligodynamiſche Wirkung (Cumaſima) ſchreibt *Mandel*, daß die Temperatur in hohem Grade für die Abtötung der Bakterien maßgebend iſt.

Nach dieſen Angaben hätte ich in meinen Verſuchen ebenfalls mit einer ſtärkeren bakteriziden Wirkung bei Temperaturerhöhung gerechnet. Ich wiederholte daher nochmals die Verſuche der Verſuchsreihe 5 mit der Abänderung, daß ich nicht nach 24 Stunden Einwirkungszeit, ſondern 1, 2, 4 Stunden nach Beimpfen die Proben entnahm und je zwei Agarzählplatten herſtellte. Ich glaubte bei den angegebenen Zeiten entſprechend der raſcheren Abtötung der Bakterien, wie es in der Kurve (Abb. 2) dargeſtellt, einen größeren Unterſchied zwiſchen den einzelnen Temperaturen zu bemerken. Beim Vergleich der gewachſenen Kolonien in den beſtrahlten Verſuchen bei 5°, 22° und 37° konnte ich wiederum keine Erhöhung der Bakterizidie beobachten.

Dieſe Tatſache ſpricht dafür, daß eine Temperaturveränderung ohne Einfluß auf die bakterizide Wirkung des beſtrahlten Waſſers iſt. In dieſer Beziehung ſcheint alſo eine Abweichung der keimtötenden Nachwirkung gegenüber der oligodynamiſchen Wirkung vorhanden zu ſein.

Beſprechung der Ergebniſſe

In der Frage nach der bakteriziden Wellenlänge des Lichtes erſcheint es merkwürdig, daß die Ergebniſſe von *Hertel*, die einwandfrei die bakterizide Wirkung des langwelligen U. V. und der ſichtbaren Strahlen gezeigt haben, bewußt im Schrifttum von den Autoren nicht erwähnt worden ſind. Meine Verſuche bei Beſtrahlung von Coli-Bakterien auf Agar in verſchloſſenen Petriſchalen mit dem Licht der Quarzlampe haben ebenfalls die Abtötung der Bakterien bewieſen; doch möchte ich, bevor keine genaueren Angaben über die Durchläſſigkeit von Glas gegenüber den kurzwelligen U. V.-Strahlen vorliegen, weder dieſe noch die ſichtbaren Strahlen dafür verantwortlich machen. Wahrſcheinlich werden es die langwelligen U. V.-Strahlen von etwa 400 bis 300 mμ ſein, die allerdings erſt bei einer entſprechend längeren Beſtrahlungsdauer auf die Bakterien einwirken.

Für die indirekte Wirkung und die bakterizide Nachwirkung bei Verwendung von gewöhnlichem Glas als Einſchlußgefäß der Nährſtoffe, könnte man das gleiche behaupten.

Das zeigen die Verſuche von *Bonino:* Der in gewöhnlichen Glasröhrchen eingeſchloſſene Agar verlor nach 122 Tagen Sonnenbeſtrahlung ſeine Nährfähigkeit für die Bakterien, während der Agar in Quarzröhrchen

ſchon nach 11 Tagen ebenſo ſtark bakterizid wirkte und bei Beſtrahlung mit der Quarzlampe war nach 30 Stunden ſein Nährwert zerſtört. Wir ſehen daraus, daß bei Verwendung von Quarz, der weiteſtgehend für die kurzwelligen U. V.-Strahlen durchläſſig iſt, die bakterizide Nachwirkung nach einer viel kürzeren Beſtrahlungszeit auftritt, als in den Glasröhrchen, die die kurzwelligen Strahlen abſorbieren. Um allerdings mit Glas denſelben bakteriziden Erfolg zu erzielen, iſt eine viel längere Belichtungsdauer notwendig.

Aus dieſen Gründen iſt es erklärlich, daß *Dimitrijevic-Speth* bei Beſtrahlung von Schrägagarröhrchen (wahrſcheinlich aus gewöhnlichem Glas) mit dem Licht der Quarzlampe bei einer Belichtungszeit von 60 Minuten keine bakterizide Nachwirkung feſtſtellen konnte, während bei einer 30 tagelangen Sonnenbeſtrahlung der Schrägagarröhrchen die nachher hinzugebrachten Typhusbazillen kein Wachstum zeigten.

Was die organiſchen Nährſtoffe anlangt, ſo haben die Unterſuchungen von *Hoffmeiſter* bewieſen, daß bei Beſtrahlung von Eiweißkörpern mit dem U. V.-Licht Abbauſtoffe ſtehen, die nun antiſeptiſch auf den Bakterienkörper wirken können.

Von den anorganiſchen Stoffen iſt vor allem das Waſſer in Bezug auf die Bakterizidie bei Belichtung unterſucht worden. *Kruſe* hat als erſter eine bakterizide Nachwirkung des Waſſers feſtgeſtellt. *Thiele* und *Wolf*, *Oker-Blom* und *de Voogt* glaubten, da ſie die Bildung von H_2O_2, N_2O_3 und Ozon in beſtrahltem Waſſer nicht nachweiſen konnten, daß eine indirekte Wirkung auf die Bakterien nicht anzunehmen ſei. Das Gegenteil haben die Amerikaner *Walker* und *Pryer* bewieſen. Allerdings ſind ihre Ergebniſſe keineswegs überzeugend, denn aus ihren wenigen Verſuchen mit deſt. Waſſer geht nicht hervor, ob das Waſſer in Quarz oder in Gefäßen aus gewöhnlichem Glas aufbewahrt wurde. Die Reinheit des in gewöhnlichem Glas aufbewahrten Waſſers läßt durch das Inlöſunggehen von Glasbeſtandteilen meiſtens zu wünſchen übrig. Weiter iſt bei einer Einwirkungszeit von 6 Stunden bei 80 ausgeſäten Keimen pro ccm deſt. Waſſers anzunehmen, daß die Bakterien ſchon in kürzeſter Zeit abſterben. Dabei haben *Walker* und *Pryer* in den Kontrollverſuchen eine zehnfache Ausſaatmenge gegenüber der in den beſtrahlten Proben angewendet, alſo unter ungleichen Verhältniſſen gearbeitet.

Zuſammenfaſſend ergibt ſich alſo, daß die vielfach vertretene Auffaſſung von der Bakterizidie des U. V. gar nicht das ultraviolette Licht betrifft, ſondern in einem anderen Wellenbereich ebenſo zu finden iſt. Auf alle Fälle muß bis zu 588 mμ eine direkte Bakterizidie als nachgewieſen gelten. Die indirekte Bakterizidie iſt auch heute noch ziemlich ungeklärt, da die Verſuche mit Waſſer, die urſprüngliche Annahme von *Dieudonné* von der Entſtehung der Peroxyde ebenſo wenig beſtätigten wie jene mit Nährböden. Was in letzteren unter dem Einfluß des U. V. an keimſchädigenden Verbindungen entſteht, iſt noch völlig unklar und bei

der Unzulänglichkeit der bisherigen Verſuchstechnik nicht erfaßbar. Es war deshalb, auch in Bezug auf die bakteriziden Nachwirkungen aus den bisherigen Verſuchsanordnungen wenig zu entnehmen. Entweder litten die Verſuche unter der chemiſch undefinierten, vorbeſtrahlten Nährlöſung bzw. unter der Benützung von gewöhnlichem Waſſer, das kaum klarere Verhältniſſe zeitigen kann, als eine Nährlöſung. Nur etwas beſſer war es mit den beſcheidenen Verſuchen im deſt. Waſſer beſtellt. Auch hier iſt bei der Aktivität des U. V. auf alle möglichen Stoffe ohne Reinheitsangabe wenig abzuleſen. Die Beurteilung der Ergebniſſe leidet ferner an entſprechenden Vergleichsmaßſtäben in demſelben deſt. Waſſer ohne Vorbeſtrahlung bei gleicher Ausſaat. Was man in ſolchen Verſuchen als Bakterizidie anſpricht, kann ja nur der Unterſchied zwiſchen der Kontrolle und dem beſtrahlten deſt. Waſſer ſein. Eine Bakterizidie tritt bei ſolchen, viele Stunden währenden Verſuchen ſchon normalerweiſe auf, nicht nur im deſt. Waſſer, ſondern auch im gewöhnlichen Waſſer.

Es ſcheint ausgeſchloſſen, daß man ohne Reihenverſuche ausreichende Kontrollen und Ausſchaltung des Vielfaktoren-Problems zu klaren Erkenntniſſen kommt.

Deshalb haben wir bideſt. Waſſer in Quarzgefäßen hergeſtellt und reſtlos in Quarzgefäßen die Verſuche und Kontrollen durchgeführt. So erhält man klar den einen Faktor Bakterizidie durch deſt. Waſſer und auf der anderen Seite die zuſätzliche Bakterizidie des gleichen bideſt. Waſſers nach Vorbeſtrahlung. Dieſe Wirkung, die in den Kurven dargeſtellt wurde, gleicht im zeitlichen Verlauf der Oligodynamie.

Die Abweſenheit von Ozon, H_2O_2, N_2O_3 ließe ſehr wahrſcheinlich erſcheinen, daß hier Stoffe durch die Beſtrahlung entſtehen, die aus der Luft ſtammen müſſen und in kleinſten Mengen wirkſam ſind. So ergab ſich in der Tat nach dem zeitlichen Verlauf eine Aehnlichkeit der bakteriziden U. V.-Wirkung mit der Oligodynamie. Es iſt zu erwarten, daß dieſe Wirkung in Abhängigkeit von Intenſität und Zeit, auch in anderen Wellenbereichen angetroffen wird.

Auch in meinen Verſuchen mit altem und neuem U. V.-Brenner war bei gleichem Stromverbrauch — gemeſſen am Ampèremeter — beim alten Quarzbrenner eine Beſtrahlungsdauer von fünf Stunden notwendig, um denſelben Effekt zu erzielen wie bei einer Stunde mit dem neuen Brenner. Das läßt ſich nur dadurch erklären, daß die Durchläſſigkeit des Quarzes für die kurzwelligen Strahlen des Lichtſpektrums durch irgendwelche Einflüſſe verändert worden iſt. Daraus läßt ſich der Schluß ziehen, daß das U. V.-Licht für die Nachwirkung des Waſſers verantwortlich zu machen iſt und daß der Effekt umſo ſtärker auftritt, je ſtärker die ausgeſtrahlte Energie des U. V.-Lichtes iſt.

Ueber den Abſtand des zu beſtrahlenden Mediums von der Lichtquelle habe ich ſchon zu Beginn meiner Arbeit geſchrieben. Ich wählte einen mittleren Abſtand von 19 cm vom Quarzbrenner der Lampe. Eine kür-

zere Entfernung vom Lichtbogen würde ich, infolge des allzu ſtarken Erhitzens und des dadurch bedingten Verdunſtens des Waſſers, nicht empfehlen. In den Verſuchen mit einer Beſtrahlungsdauer von 3—5 Stunden mußte ich aus dieſem Grund eine geringe Menge bideſt. Waſſers in die beſtrahlten Proben mehr zugeben, um zur Zeit des Beimpfens unter gleichen Verhältniſſen arbeiten zu können.

Um die *Temperaturerhöhung* des Waſſers *beim Beſtrahlen* zu kontrollieren, habe ich ein Thermometer am Boden der Schale, ein zweites direkt über dem Waſſer und ein weiteres neben der Schale angebracht. Die Anfangstemperatur war hier gleich der Zimmertemperatur. Nach 40 Minuten Belichtung zeigten alle drei Thermometer den Höchſtwert von 41^0 C an. Für die weitere Beſtrahlungsdauer blieb dieſe Temperatur konſtant, d. h. ſie ſchwankte zwiſchen 40 und 42^0. In Bezug auf die bakterizide Nachwirkung dürfte die Erwärmung des Waſſers ohne Bedeutung ſein, da in meinen Verſuchen das Waſſer erſt 1½ Stunden nach dem Beſtrahlen beimpft wurde. Zur Zeit des Beimpfens aber herrſchten in der Kontrolle wie in der beſtrahlten Probe gleiche Wärmeverhältniſſe.

Ebenſo prüfte ich die *Lichtſtärke des Brenners* während der Zeit einer Verſuchsdauer nach. Das Fotometer zeigte kleine Schwankungen, die gleichzeitig mit den Zeigerausſchlägen am Ampèremeter auftraten. Sie ſind durch die Wirkungsweiſe der Queckſilberdampflampe bedingt und ohne Einfluß auf meine Ergebniſſe zu werten.

Somit ſind die Grundlagen für die Urſachen der bakteriziden Nachwirkung durch vorliegende Arbeit gegeben. Es handelt ſich jetzt darum, den entſtehenden Stoff durch Ausſchluß der Luft und ihrer Beſtandteile im einzelnen zu kennzeichnen.

Wir benützten heute in der Zahnheilkunde die U. V.-Strahlen, um eine raſchere Heilung nach chirurgiſchen Eingriffen zu erzielen und um unſchön verfärbte Zähne zu bleichen. Welche Einflüſſe, ob direkte oder bakterizide Nachwirkungen hier eine Rolle ſpielen, darüber weiß man allerdings nichts auszuſagen. Es wäre daher von großem Intereſſe, auch darüber Aufſchluß zu erlangen, zumal die Einwirkung des ultravioletten Lichtes auf den Körper ein noch ziemlich unerforſchtes Gebiet der Allgemein-Medizin iſt.

Zusammenfassung

Aus den mitgeteilten Verſuchsergebniſſen laſſen ſich zuſammenfaſſend folgende Schlüſſe ziehen:

1. Beim Beſtrahlen von Waſſerleitungswaſſer, Witte-Peptonlöſung, Traubenzuckerlöſung und reinſtem, bideſt. Waſſer in chemiſch reinen Quarzſchalen mit den U. V.-Strahlen der Quarzlampe wird dieſen Medien eine bakterizide Wirkung mitgeteilt, die ausreicht, um ſpäter hinzugebrachte Coli-Bakterien innerhalb 24 Stunden unter Umſtänden vollkommen abzutöten.

2. Für das Auftreten der Bakterizidie ſind vornehmlich die kurzwelligen Strahlen des Lichtſpektrums verantwortlich zu machen.

3. Dieſe bakterizide Nachwirkung iſt abhängig von der ausgeſtrahlten Lichtenergie und von der Entfernung des Lichtbogens von den zu beſtrahlenden Flüſſigkeiten. Sie wird geringer, wenn das Waſſer längere Zeit ſtehen bleibt.

4. Weder die Entſtehung von Sekundärſtrahlen, noch die Bildung von Waſſerſtoffſuperoxyd, Ozon oder kolloidal gelöſter Kieſelſäure, die für die Bakterizidie verantwortlich gemacht werden könnten, wurde in dahingehend angeſtellten Verſuchen nachgewieſen.

5. Die Wirkung iſt den beſtrahlten Medien eigen und iſt im Gegenſatz zu dem oligodynamiſchen Einfluß und der Wirkung von chemiſchen Desinfektionsmitteln auf die Bakterien unabhängig von der Temperatur.

Auf Grund der nach verſchiedenen Geſichtspunkten angeſtellten Unterſuchungen die bakterizide Nachwirkung näher zu beſtimmen, kann man ſagen, daß wir es hier mit einer Wirkung zu tun haben, die zwar biologiſch feſtſtellbar, aber mit chemiſchen und phyſikaliſch-chemiſchen Nachweismethoden noch nicht erfaßbar iſt.

Nachſatz:

Die weiteren Unterſuchungen, über die Herr *Schwermer* berichten wird, haben hinſichtlich der Natur des bakteriziden Stoffes bisher ergeben: Beſtändig gegen Kochen, nicht deſtillierbar, bleibt im Rückſtand, Durchleitung CO_2 freier Luft unter Quarz hebt Bakterizidie auf, da durch Doppelwirkung CO_2 + aqua bideſt. entſtanden.

Schrifttum

Bedford: Zbl. f. Bakt. II. Abt. Bd. 91 (1927) S. 379.
Bonino: Zſchr. f. d. g. Hyg. Bd. 22 (1930) S. 545.
Buchholz u. *Jenay:* Zbl. f. Bakt. Org. I Bd. 133 (1934/35) S. 209,
Buchner: Arch. f. Hyg. Bd. 17 (1892) S. 179.
Dimitrijevic-Speth: Zbl. f. Bakt. Org. I Bd. 101 (1927) S. 188.
Downs u. Blunt: Proc. roy. Soc. London 26 Nr. 184 (1877).
Ehrismann u. Noethling: Zſchr. f. Hyg. Bd. 113 (1932) S. 597; Zſchr. f. Hyg. Bd. 111 S. 618 (1930).
Feigl: Quantitative Analyſe mit Hilfe der Tüpfelreaktionen.
Ficker: Zſchr. f. Hyg. Bd. 29 (1898) S. 1.
Friedland: Zbl. f. Bakt. Org. I Bd. 95 (1925) S. 404.
Geisler: Zbl. f. Bakt. Org. I Bd. 11 (1891) S. 172.
Gutfeld u. Pincuſſen: Zbl. f. Bakt. I O. 109 S. 107 (1928); Zbl. f. Bakt. I O. 118 S. 187 (1930).
Hanauer Quarzlampengeſellſchaft: Gebrauchsanleitung für die Analyſen; Quarzlampe.
Hertel: Zbl. f. allg. Phyſiolog. Bd. IV (1904) S. 1; Zbl. f. allg. Phyſiolog. Bd. V (1905) S. 95.
Hoffmeiſter: Zſchr. f. phyſiol. Chemie Bd. 204/205 S. 193.
Janowski: Zbl. f. Bakt. Bd. VIII (1890) S. 230.
Jollaſſe u. Lauſter: Zſchr. d. Ver. Deutſch. Ing. Bd. 80 (1936) S. 909.
Kliewe u. Althaus: Der praktiſche Desinfekteur (1936) Heft 5 S. 115.
Küſter: Arch. f. Hyg. Bd. 50 S. 364.
Kreußler: Analen der Phyſik Bd. 6 (1901) S. 412.
Kruſe: Zſchr. f. Hyg. Bd. 19 (1895) S. 313
Madſen u. Nyman: Zſchr. f. Hyg. Bd. 57 (1907) S. 388.
Mandel: Der Einfluß der Temperatur in oligodynamiſchen Verſuchen; Diſſertation Würzburg 1937.
Norton: American. Journ. of Publ. Health Bd. 18 (1927) S. 476.
Ocker-Blom: Zſchr. f. Hyg. Bd. 74 (1913) S. 243.
Pflüger: Phyſikaliſche Zeitſchrift Bd. 5 (1904) S. 215.
Prica: Zſchr. f. Hyg. Bd. 116 (1935(S. 909.
Raum: Zſchr. f. Hyg. Bd. 6 (1889) S. 312.
Reichenbach: Zbl. f. Bakt. Org. I Bd. 89 (1923) S. 15.
Roux: Anales de l'Inſtitut Paſteur Bd. I (1887) S. 445.
Roux u. Rivière: Zſchr. f. d. geſ. Hyg. Ref. Bd. 36 (1936) S. 418.
Schott u. Genoſſen: Jenaer Farb- u. Filtergläſer f. Wiſſenſchaft u. Technik.
Thiele u. Wolf: Archiv f. Hyg. Bd. 57 (1907) S. 29; Archiv f. Hyg. Bd. 60 (1907) S. 29.
de Voogt: Zſchr. f. Bd. 81 (1916) S. 63.
Walker u. Pryer: American Journ. of Publ. Health Bd. 11 (1921) S. 403.
Lebenslauf

Lebenslauf

Ich, Georg Weberpals, wurde am 26. Oktober 1910 als Sohn der Landwirtseheleute Johann Weberpals und Kunigunda geb. Dütſch in Miſtelfeld (Ofr.) geboren. Ich beſuchte die Volksſchule, Realſchule und Oberrealſchule und legte 1933 die Reifeprüfung ab. Nach 4 Semeſtern Studium beſtand ich das zahnmediziniſche Phyſikum an der Hochſchule in Würzburg. Im Frühjahr 1937 unterzog ich mich mit Erfolg der zahnärztlichen Staatsprüfung.
Ich verſichere ehrenwörtlich, daß ich vorſtehende Arbeit ſelbſtändig verfaßt und dazu keinerlei unerlaubte Hilfsmittel angewendet habe.

Würzburg, den 5. April 1938. *Georg Weberpals.*

Ich benütze hier die Gelegenheit, Herrn Profeſſor Dr. M. Knorr für die Ueberlaſſung des Themas, für alle die nützlichen Ratſchläge, ſowie für ſein freundliches Entgegenkommen und das große Intereſſe, das im Laufe der Verſuche von ſeiner Seite meiner Arbeit entgegengebracht wurde, meinen verbindlichſten Dank auszuſprechen.